

УДК 58.085, 581.5
AGRIS F40

https://doi.org/10.33619/2414-2948/102/12

БАКТЕРИЗАЦИЯ СЕМЯН *Medicago sativa* L. И *Cynodon dactylon* (L.) Pers. ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПРОЦЕССА ФИТОРЕМЕДИАЦИИ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВ

©Гасимова А. С., ORCID: 0000-0002-3339-0733, канд. биол. наук,
Институт микробиологии при Министерстве науки и образования Азербайджанской
Республики, г. Баку, Азербайджан, gasimovaa@inbox.ru

STUDY OF BACTERIZATION OF *Medicago sativa* L. and *Cynodon dactylon* (L.) Pers. DURING THE PROCESS OF PHYTOREMEDIATION OF OIL-CONTAMINATED SOILS

©Gasimova A., ORCID: 0000-0002-3339-0733, Ph.D., Institute of Microbiology
of the Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan,
Baku, Azerbaijan, gasimovaa@inbox.ru

Аннотация. Рекультивация нефтезагрязненных почв на Апшеронском полуострове является для данного региона одной из важнейших экологических и социальных проблем. Одним из перспективных способов решения проблемы загрязнения почв нефтяными углеводородами является разработка методов и подходов их очистки и детоксикации *in situ*, и прежде всего, биодетоксикации и биоремедиации. В модельном вегетационном опыте с использованием комплексных систем из смеси растений и микроорганизмов, исследовали фиторемедиацию почвы, загрязненной сырой нефтью в концентрации 15 г/кг. Установлено, что инокуляция растений модифицированным биопрепаратом «Ферми-старт» влияет на численность ризосферных микроорганизмов, которые стимулируют рост растений, также на степень очистки серо-бурых почв от нефти. Модифицированный культурой нефтеокисляющего микроорганизма *Pseudomonas aeruginosa*, выделенного из нефтезагрязненной серо-бурой почвы биопрепарат «Ферми-старт», относящийся к группе «эффективных микроорганизмов», ассоциированный с растениями: свиноем пальчатым и люцерной является эффективной биосистемой для ремедиации нефтезагрязненных серо-бурых почв Апшерона. Совместное внесение биопрепарата «Ферми-старт» и культуры *P. aeruginosa* оказывало наибольший защитный эффект от воздействия сырой нефти на проростки. Высота побегов возрастала на 71% по сравнению с отрицательным контролем, параллельно степень деградации нефти увеличилась до 24%. Выявлена значительная роль люцерны при стимуляции численности ризосферных микроорганизмов, способных к деградации углеводов. Это подтверждается данными, которые показывают, что численность микроорганизмов в ризоплане растений была выше на 1–2 порядка (в среднем около $1,1 \times 10^7$), чем в ризосфере (в среднем около $1,4 \times 10^5$), что может быть связано с выделением корневых экссудатов растений. Результаты исследований позволяют рекомендовать использование растительно-микробной биосистемы, состоящей из люцерны + свиногоя совместно с модифицированным биопрепаратом «Ферми-старт» для фиторемедиации серо-бурых почв, загрязненных сырой нефтью.

Abstract. Recultivation of oil-contaminated soils on the Absheron Peninsula is one of the most important environmental and social problems for this region. One of the promising ways to solve the problem of soil pollution with petroleum hydrocarbons is the development of methods and approaches for their purification and detoxification *in situ*, and above all, biodegradation and

bioremediation. In a model vegetation experiment using complex systems of a mixture of plants and microorganisms, phytoremediation of soil contaminated with crude oil at a concentration of 15 g/kg was investigated. It has been established that the inoculation of plants with the modified Fermi-Start biological product affects the number of rhizosphere microorganisms that stimulate plant growth, as well as the degree of purification of gray-brown soil from oil. *Cynodon dactylon* is an effective biosystem for the remediation of oil-contaminated gray-brown soils as it is modified by a culture of an oil-oxidizing microorganism of the *Pseudomonas aeruginosa*, isolated from oil-contaminated gray-brown soil, the Fermi-Start biological product and belongs to the group of “effective microorganisms”, associated with plants — *Medicago sativa*. The joint introduction of the Fermi-Start biological product and the culture of *P. aeruginosa* had the greatest protective effect on seedlings from exposure to crude oil. The height of the shoots increased by 71% compared with the negative control, in parallel, the degree of oil degradation increased to 24%. A significant role of alfalfa in stimulating the number of rhizosphere microorganisms capable of hydrocarbon degradation has been revealed. This is confirmed by data showing that the number of microorganisms in the plant rhizoplane was 1–2 orders of magnitude higher (about 1.1×10^7 on average) than in the rhizosphere (about 1.4×10^5 on average), which may be due to secretion of plant root exudates. The results of the research allow us to recommend the use of a plant-microbial biosystem consisting of *Medicago sativa* and *Cynodon dactylon*, together with a Fermi-Start modified biological product for phytoremediation of gray-brown soil contaminated with crude oil.

Ключевые слова: серо-бурые почвы, нефть, фиторемедиация, *Medicago sativa*, *Cynodon dactylon*, *Pseudomonas aeruginosa*, Ферми-старт, бактериализация семян.

Keywords: gray-brown soils, oil, phytoremediation, *Medicago sativa*, *Cynodon dactylon*, *Pseudomonas aeruginosa*, Fermi-Start, seed bacterization.

В последние десятилетия в результате увеличения добычи, транспортировки, переработки и использования нефти и нефтепродуктов сильно возросли степень и масштабность загрязнения окружающих ландшафтов нефтью и нефтепродуктами. Наиболее интенсивно подвергается загрязнению этими веществами почвенный покров. Особенно остра проблема загрязнения земель нефтью и нефтепродуктами в Азербайджане, на Апшеронском полуострове. Площадь территории полуострова составляет 222 тыс га, из них на долю нефтепромыслов — 30 тыс га, или 13,5% [1].

Процесс аккумуляции нефтяных углеводородов в почве приводит к изменению их физико-химических свойств, развитию фитотоксичности почвенного покрова. Это приводит к подавлению роста и развития высших растений или же к их полному угнетению [2–4].

Рекультивация нефтезагрязненных серо-бурых почв на Апшеронском полуострове является для данного региона одной из важнейших проблем экологии. Ранее были проведены работы по экологической оценке техногеннозагрязненных земель [5], проблеме очистки и повышения плодородия нефтезагрязненных почв региона [6], экологическим критериям выбора технологий очистки нефтезагрязненных почв [7], роли нефтеокисляющих микроорганизмов в очистке нефтезагрязненных почв, разработке методов очистки и результатах использования методов биоремедиации на Апшеронском полуострове [8–10], устойчивости свинороя (*Cynodon dactylon*) к загрязнению почв нефтяными углеводородами.

Одним из путей ремедиации почв, загрязненных нефтяными углеводородами, является использование методов фиторемедиации. По сравнению с другими способами ремедиации

загрязненных нефтяными углеводородами почв, фиторемедиация является экологически безопасной и экономичной [11–14].

Фиторемедиация нефтезагрязненных почв на сегодняшний день одна из эффективных экотехнологий, с помощью которых можно решать проблемы очистки почв, загрязненных органическими и неорганическими веществами, в том числе нефтью и нефтепродуктами [15–18].

Известна способность растений разных видов осуществлять детоксикацию нефтяных углеводородов [19].

Один из перспективных способов решения проблемы загрязнения почв нефтяными углеводородами — разработка методов и подходов их очистки и детоксикации *in situ*, и прежде всего, биодетоксикации и биоремедиации. Для очистки почв, загрязненных углеводородами, развивают технологии био- и фиторемедиации с участием растений и микроорганизмов [20–23].

Наиболее привлекательны методы, в основе которых лежит совместное использование природных ассоциаций высших растений и микроорганизмов. Имеется работа по использованию метода бактеризации семян различных растений с помощью микробных культур *Sinorhizobium meliloti* P221 или *Azospirillum brasilense* SR8023. Показано, что в загрязнённом грунте ризосферные микробные ассоциации способствуют выживанию растений за счёт выделения ряда поддерживающих рост веществ, а также постепенному снижению загрязняющих веществ в результате микробного разложения. В этой связи интерес представляют микробные биопрепараты, с одной стороны стимулирующие рост растений, с другой — обладающие способностью с высокой скоростью разлагать органический загрязнитель [24].

Практическое и технологическое значение использования этих подходов особенно эффективно на стадиях, когда ставится задача доочистить почвенный покров от остаточных нефтепродуктов после их предварительной очистки физико-химическими или другими методами, а также на поздних стадиях биоочистки, когда легкие фракции уже разложились, а в почве остаются высокомолекулярные компоненты: смолы, асфальтены, полиароматические соединения и др., трудно разлагаемые почвенными микроорганизмами. Исследования ряда авторов также подтверждают возможность создания высокопродуктивных растительно-микробных систем с использованием полезных микроорганизмов в биотехнологиях [25–28].

Целью работы является исследование эффективности использования растительно-микробных систем на основе региональных биоресурсов для ремедиации нефтезагрязненных серо-бурых почв.

Объекты и методы

С использованием комплексных систем из растений и микроорганизмов в лабораторных условиях исследовали фиторемедиацию почвы, загрязненной сырой нефтью в концентрации 15 г/кг. Использовали семена люцерны (*Medicago sativa* L.) и свинороя пальчатого (*Cynodon dactylon* (L.) Pers.).

Люцерна посевная относится к роду многолетних трав семейства бобовых. Растение люцерны отлично адаптируется к различным условиям выращивания и погодным условиям, может быть очень устойчиво к засухе. Также, в нем содержатся симбиотические почвенные бактерии в корневых узлах, которые «фиксируют» азот из воздуха в почву и является естественным источником азота. Так как он улучшает физико-химические и биологические свойства почвы, его удобно использовать в процессах рекультивации.

Свинорой пальчатый обычно встречается на различных почвах, но предпочитает сухие, теплые места. Это одна из самых устойчивых злаковых культур к загрязнению почв углеводородами, преобладает на серо-бурых почвах Апшеронского полуострова [7].

Эксперименты ставили в вегетационных сосудах. Использовали семена растений в соотношении 1:1 (по весу). В экспериментах использовали методы бактеризации семян растений биопрепаратом «Ферми-старт» и его модифицированным вариантом. Биопрепарат «Ферми-старт» производится в Азербайджане фирмой «АгроБиоТех». Состав биопрепарата «Ферми-старт» включал ассоциацию эффективных микроорганизмов (молочнокислые, азотфиксирующие бактерии, дрожжи, грибы и актиномицеты), содержание КОЕ — 1×10^9 . Модифицирование биопрепарата «Ферми-старт» состоял во введение в его состав культуры нефтеокисляющего микроорганизма *Pseudomonas aeruginosa* штамм №3, выделенного из нефтезагрязненной серо-бурой почвы (*Qypisic calcisols soils.*) Апшеронского полуострова и способного использовать нефтяные углеводороды [3].

Предварительные исследования показали, что этот штамм в процессе культивирования в жидкой минеральной среде Раймонда разлагал сырую нефть в концентрации 10–15 г/л за 10 сут на 71–77%. Смысл модификации состоял в расширении функциональной способности биопрепарата «Ферми-старт», а именно, наряду с основной функцией повышения биологической активности почв придать ему дополнительную функцию — участвовать в процессе разложения нефтяных углеводородов в загрязнённой нефтью почве.

Перед посевом семена растений стерилизовали с использованием тепловой обработки при $t=52-60^\circ\text{C}$ в течение 30–40 минут с последующей опусканием их в воду при комнатной температуре. Затем стерильные семена люцерны и свинороя обрабатывали модифицированным микробным препаратом «Ферми-старт».

Готовили рабочий раствор модифицированного препарата «Ферми-старт» с водой 1:10 и обрабатывали семена в день посева. Бактеризацию проводили путем погружения семян в микробную суспензию в течение 2–3 ч. Титр микроорганизмов в суспензии составлял $1-3 \times 10^9$ клеток/мл. Исследовали процесс фиторемедиации серо-бурой почвы, загрязнённой сырой нефтью в концентрации 15,0 г/кг в вегетационных сосудах в различных вариантах. Осуществляли посев семян исследуемых растений в вегетационные сосуды как в отдельности, так и в соотношении 1:1.

В другой серии опытов проводили вегетационные опыты с использованием биосистемы «растение + биопрепарат «Ферми-старт» (вариант 3), также растение + нефть + культура *P. aeruginosa* (вариант 4). Другая серия экспериментов состояла в использовании биопрепарата «Ферми-старт», модифицированного штаммом нефтеокисляющей культуры *P. aeruginosa* штамм №3 (вариант 5).

Предварительно откалиброванные семена люцерны и свинороя после стерилизации сеяли по 20 семян в 1 л сосуды, содержащие 1,0 кг серо-бурой почвы. Бактеризацию почвы модифицированным биопрепаратом проводили, поливая 5-дневные всходы растений суспензией микробного биопрепарата до достижения концентрации микроорганизма в почве 1×10^7 КОЕ/1 г почвы. Растения выращивали в помещении с температурой 20–24°C и относительной влажностью воздуха 65%. Влажность почвы поддерживали на уровне 50–60% от полевой влагоемкости.

Необходимость полива определяли взвешиванием сосудов. Анализ растений включал в себя определение всхожести, энергии (скорости) прорастания семян, приживаемости растений, измерение побегов по длине через 8–12 дней начала эксперимента. Остаточное содержание сырой нефти в почве во всех вариантах проводили через 8, 12, 30 и 90 дней после начала эксперимента, биомониторинг роста и развития растений определяли на 8–12 день.

Для извлечения нефтяных углеводородов из почв использована методика согласно ЕРА method 3540. Сущность метода заключается в непрерывной экстракции до полного извлечения нефтепродукта из загрязненного образца органическими растворителями (смесь гексан: хлороформ в соотношении 1:1) в аппарате Сокслета, выпаривании растворителя, остаток взвешивают. Содержание основной массы остаточных нефтепродуктов и их окисленных соединений в мг/100 г почвы находили по формуле:

$$x_2 = \frac{(m_1 - m_2)100}{10}$$

где m_1 — масса бюкса с остатком после удаления экстрагента, мг; m_2 — масса пустого бюкса, мг; 10 — вес пробы, взятой для определения, в г. Все эксперименты и анализы проводили в трехкратной повторности. Статистическую обработку результатов осуществляли с помощью статистического пакета Excel (MS Office 2007).

Результаты и обсуждение

Изучение взаимодействия штаммов-деструкторов углеводородов нефти и биопрепарата «Ферми-старт» проводили в модельных системах. Было показано, что сырая нефть в концентрации 1,5% оказывает значительный фитотоксический эффект на побеги люцерны (длина побегов снижалась на 73% по сравнению с положительным контролем) (Рисунок 1).

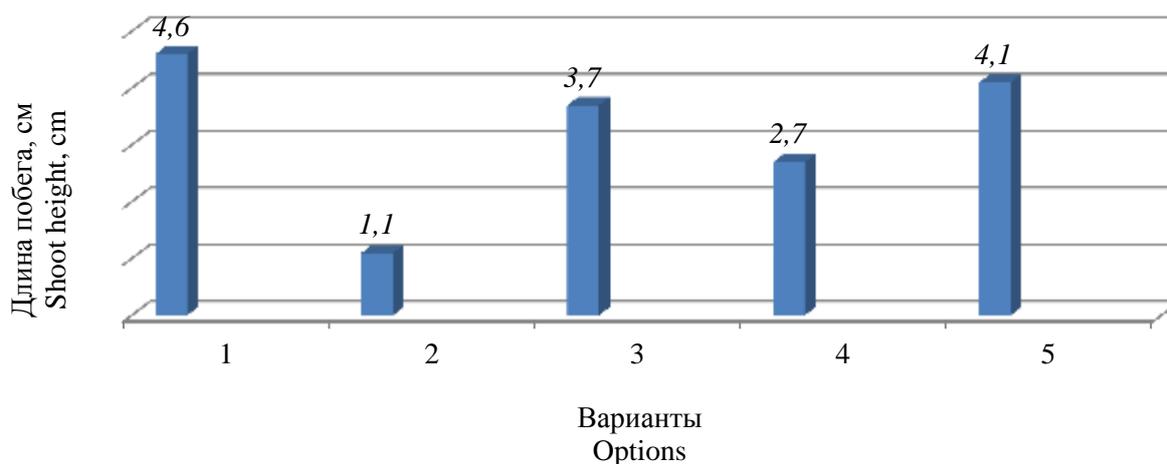


Рисунок 1. Высота побега люцерны через 8 дней культивирования: 1 — растение; 2 — растение + нефть; 3 — растение + нефть + «Ферми-старт»; 4 — растение + нефть + культура *P. aeruginosa*; 5 — растение + нефть + модифицированный биопрепарат («Ферми-старт» + *P. aeruginosa*)

Внесение модифицированного биопрепарата «Ферми-старт», а также культуры *P. aeruginosa* оказывало защитный эффект от воздействия сырой нефти на проростки люцерны. Наибольший защитный эффект от воздействия сырой нефти на проростки люцерны оказывало совместное внесение биопрепарата «Ферми-старт» и культуры *P. aeruginosa* (Рисунок 1). В результате через 8 дней высота побегов возрастала на 71% по сравнению с отрицательным контролем (растения с нефтью). Полагаем, что при использовании штамма *P. aeruginosa* должно происходить ускорение потребления нефти [8], однако, в системе остаточная концентрация нефти (0,137 мг/г почвы) была выше, чем в случае, когда использовались система *P. aeruginosa* + «Ферми-старт» (Рисунок 2).

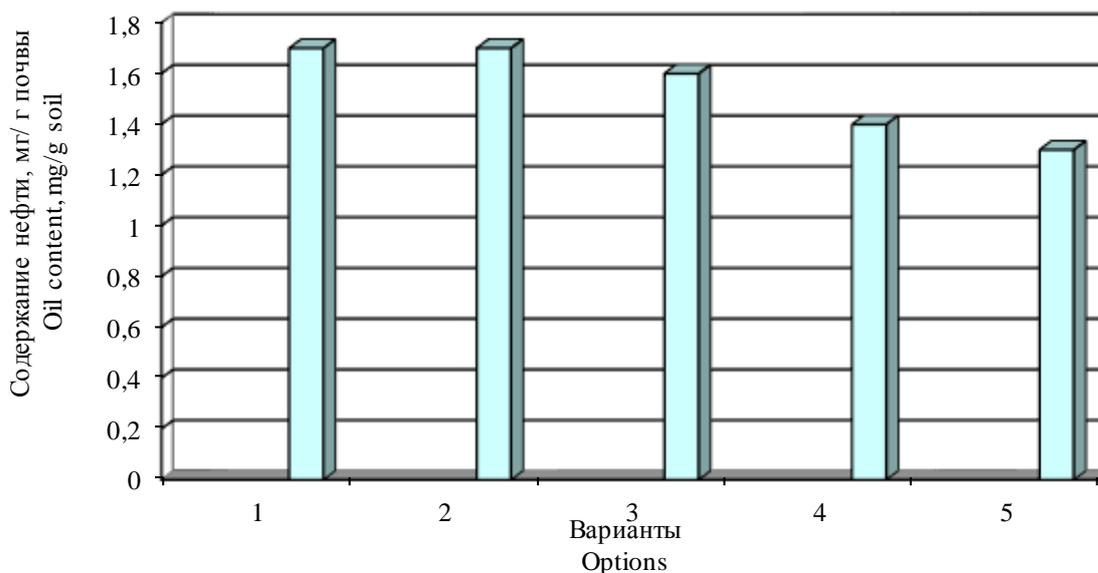


Рисунок 2. Остаточное содержание углеводов в модельных системах через 8 суток культивирования люцерны: 1 — растение; 2 — растение + нефть; 3 — растение + нефть + «Ферми-старт»; 4 — растение + нефть+ культура *P. aeruginosa*; 5 — растение + нефть +модифицированный биопрепарат «Ферми-старт»

Так как при интродукции нефтеокисляющего микроорганизма деградация нефти составила 18% (Рисунок 2), а защитный эффект на растения был незначительным (Рисунок 1), предполагается, что этот микроорганизм в процессе деградации нефти накапливает неизвестное соединение, которое, возможно, является токсичным для растений. А при совместном культивировании «Ферми-старт» и нефтеокисляющей культуры микроорганизмы, входящие в состав биопрепарата, возможно способны потреблять накопленный *P. aeruginosa* интермедиат, снимая тем самым токсический эффект, параллельно повышая степень деградации нефти до 24%.

Внесение модифицированного биопрепарата «Ферми-старт» в серо-бурую почву, загрязнённую нефтью и засеянные растениями (свиной и люцерной), способствовало детоксикации почвы, что отражалось на длине побега по сравнению с отрицательным контролем (растения + нефть) (Рисунок 3). Можно полагать, что это связано со способностью микроорганизмов колонизировать корни растений и ризосферу, снижая тем самым токсический эффект нефти за счет своей деградативной активности. Это подтверждается данными, которые показывают, что численность микроорганизмов в ризоплане растений была выше на 1–2 порядка (в среднем около $1,1 \times 10^7$), чем в ризосфере (в среднем около $1,4 \times 10^5$), что может быть связано с выделением корневых экссудатов растений. Люцерна значительно стимулировала численность ризосферных микроорганизмов, способных к деградации углеводов. Данные по степени разложения нефти в модельных системах оценивали через 12 суток эксперимента (Рисунок 4).

Как видно на Рисунке 4, наибольшую деградацию нефти в серо-бурой почве — соответственно на 16,0% и 17,9% за 12 дней наблюдали в системе растение +модифицированный биопрепарат. В системе свиной + модифицированный биопрепарат наблюдали более высокую степень деградации нефти в серо-бурой почве (около 17,9%) по сравнению со всеми другими вариантами эксперимента. В загрязненной сырой нефтью почве бактериализация семян растений биопрепаратом «Ферми-старт» повышала устойчивость люцерны и свиной соответственно на 12% и 15%, увеличивала прирост биомассы их

корней и побегов по сравнению с небактеризованным вариантом на 13% и 24% соответственно.

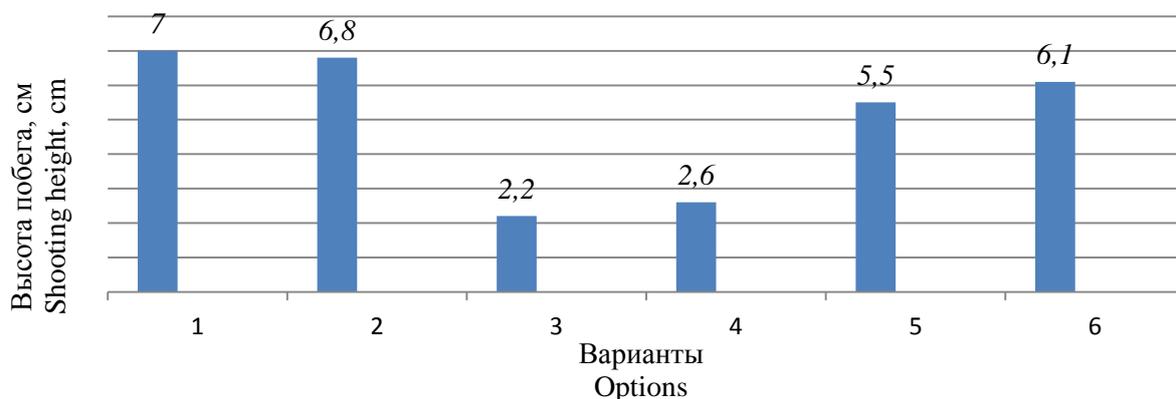


Рисунок 3. Высота побега растений (люцерна и свинорой) в модельном эксперименте через 12 дней культивирования: 1 — люцерна; 2 — свинорой; 3 — люцерна + нефть; 4 — свинорой + нефть; 5 — люцерна + модифицированный биопрепарат «Ферми-старт»; 6 — свинорой + модифицированный биопрепарат «Ферми-старт»

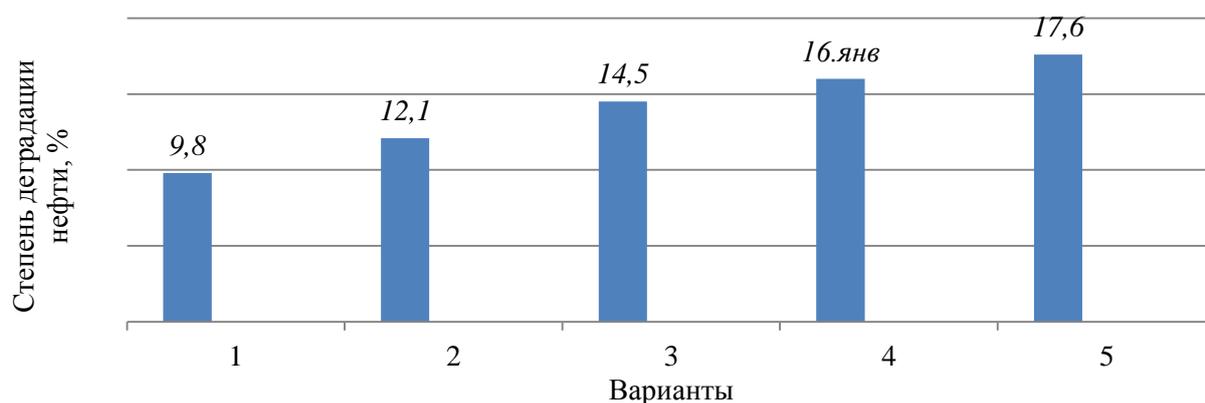


Рисунок 4. Степень деградации нефти в модельных почвенных системах с растительно-микробными ассоциациями (12 суток): 1 — нефть + модифицированный препарат; 2 — нефть + люцерна; 3 — нефть + свинорой; 4 — нефть + люцерна + биопрепарат; 5 — нефть + свинорой + биопрепарат

Бактеризация увеличивала прирост биомассы корней люцерны по сравнению с небактеризованным вариантом на 9% — в чистом грунте и на 18% — в загрязненном. В грунте, загрязненном сырой нефтью, надземная биомасса люцерны была на 29% больше у бактеризованных растений по сравнению с не бактеризованными.

Химический анализ показал, что содержание сырой нефти в почве с не бактеризованными растениями (*Medicago sativa*, *Cynodon dactylon*) через 90 дней культивирования снизилось на 59%, а с бактеризованным биопрепаратом «Ферми-старт» — на 78%, деградация углеводов в почве под свинороем и люцерной составила 67% соответственно, что на 25–45% было больше по сравнению с контролем.

Таким образом, консорциум, модифицированный «Ферми-старт», ассоциированный с растениями — свинороем пальчатым и люцерной является эффективной биосистемой для ремедиации нефтезагрязненных серо-бурых почв, так как внутри ассоциации отсутствуют отрицательные взаимодействия, влияющие на скорость и эффективность утилизации нефти,

численность микроорганизмов и развитие растений, ассоциированных со штаммом-деструктором. По-видимому, свиной в сочетании с люцерной образовывали эффективную для фиторемедиации травосмесь. Установлено, что инокуляция растений модифицированным биопрепаратом «Ферми-старт» влияет на численность ризосферных микроорганизмов, которые стимулируют рост растений, также на степень очистки серо-бурой почвы от углеводов.

Изученная культура углеводородокисляющих бактерий вида *P. aeruginosa* штамм №3, является потенциальным инокулянт для модификации биопрепарата «Ферми-старт» из группы «эффективных микроорганизмов», а сам модифицированный биопрепарат является потенциальным инокулятором растений свиной и люцерны для улучшения их роста и повышения эффективности фиторемедиации загрязнённых углеводородами серо-бурой почвы Апшеронского полуострова при остаточной степени загрязнения 1,0–1,5%. Штамм рода *P. aeruginosa* №3 может быть использован в качестве интродукта в микробный биопрепарат «Ферми-старт» для придания ему полифункциональности и для очистки и доочистки серо-бурой почвы, загрязнённой нефтепродуктами и предварительно очищенной от основной части углеводов. Свиной пальчатый представляет собой засухоустойчивое и солестойкое зерновое растение, в этой связи совместно с бобовыми, в том числе люцерной, этот вид, широко распространённый в регионе и наиболее устойчивый к загрязнению почв нефтяными углеводородами, может иметь большую перспективу для создания растительно-микробных систем при разработке технологий биоремедиации серо-бурых почв Апшерона.

Известно, что корневища свиной содержат углеводы (сахарозу, фруктаны), органические кислоты и их производные (соли яблочной кислоты), каротиноиды (р-каротин, феофитин А и В, неоксантин, виолаксантин, зеаксантин, лютеин, эфир лютеина), витамин В, жирное масло [29]. Это способствует созданию оптимальных условий для жизнедеятельности микроорганизмов, которые составляют основу биопрепаратов «Ферми-старт», модифицированных культурами нефтеокисляющих микроорганизмов. Что касается люцерны, то почти половина всей массы тонких корней у люцерны осенью отмирает и разлагается. Это способствует накоплению гумуса, а корневая система люцерны достигает глубины 50–170 см, при этом основная масса корней занимает слой почвы до 100 см [30]. Это свидетельствует о том, что корневища биосистемы люцерны + свиной совместно с ассоциированными на них в зоне ризосферы микроорганизмами будут охватывать значительный по площади и глубине слой загрязнённой нефтяными углеводородами серо-бурой почвы, где будут протекать процессы деградации загрязнителей и тем самым создавать благоприятную среду для поступления атмосферного кислорода в почву, что в свою очередь будет иметь положительное воздействие на функционирование нефтеокисляющих микроорганизмов, как аборигенных, так и внесенных в составе модифицированного биопрепарата «Ферми-старт», ускоряя процесс ремедиации.

Таким образом, анализ различных приёмов, направленных на повышение эффективности фиторемедиации серо-бурой почвы от углеводородного загрязнения, показала перспективность использования бобово-злаковой травосмеси, бактериализации растений, стимулирующими их рост штаммом-деструктором углеводов *P. aeruginosa*. Выявлена принципиальная роль биосистемы люцерны и свиной как компонентов травосмесей, стимулирующей почвенную микрофлору и, наконец, усиливающей очистку почвы от остатков нефти. Результаты исследований позволяют рекомендовать использование растительно-микробной биосистемы, состоящей из люцерны + свиной совместно с модифицированным культурой нефтеокисляющего микроорганизма *Pseudomonas aeruginosa*

биопрепаратом «Ферми-старт» для фиторемедиации серо-бурой почвы Апшеронского полуострова, загрязненной сырой нефтью.

Список литературы:

1. Кахраманова Ш. Ш. Техногенное загрязнение почв Апшерона // Академический вестник УралНИИПроект РААСН. 2012. №1. С. 12-17.
2. Пиковский Ю. И., Исмаилов Н. М., Дорохова М. Ф. Основы нефтегазовой геоэкологии. М.: Инфра-М, 2022. 414 с.
3. Исмаилов Н. М., Наджафова С. И. Гасимова А. С. Биоэкокластерные комплексы для решения экологических, производственных и социальных проблем (на примере территории Азербайджана). М.: Инфра-М. 2020. 260 с.
4. Ларионова Н. Л., Бреус И. П. Фитотоксичность почв, загрязненных углеводородами (Обзор литературы) // Грунтознавство. 2006. №6. С. 34.
5. Мукаганов А. Х., Ривкин П. Р. Влияние нефти на свойства почв // Нефтяное хозяйство. 1980. Т. 4. С. 53-54.
6. Керимов С. В., Исмаилов Н. М., Васенев И. И., Компании У. Э. Функционально-экологическая оценка почв Апшеронского полуострова, загрязненных нефтепродуктами // АгроЭкоИнфо. 2008. №2. С. 9-9.
7. Бабаев Э. Р. Биodeградация нефтезагрязнений под воздействием углеводородокисляющих микроорганизмов // НефтеГазoХимия. 2019. №1. С. 48-51. <https://doi.org/10.24411/2310-8266-2019-10109>
8. Ахмедов В. А. О. Исследование экологической обстановки нефтедобывающих и техногеннонарушенных территорий юго-западной части Апшеронского полуострова Азербайджана // Мелиорация и гидротехника. 2016. №4 (24). С. 86-99.
9. Гасанов К. С., Гасанов Р. Влияние углеводородов легких фракций нефти на сообщество почвенных микроорганизмов // Высшая школа: научные исследования. 2020. С. 79-83.
10. Керимов С. В., Исмаилов Н. М. Опыт рекультивации почв, загрязненных нефтью в Азербайджане // Нефтяное хозяйство Азербайджана. 2007. №7. С. 61-64.
11. Мамедов Г. М. и др. Загрязнение и агроэкологическое состояние как базовый компонент природной среды // Экосистемы центральной Азии: исследование, сохранение, рациональное использование. 2016. С. 95-97.
12. Логинов О. Н., Силищев Н. Н., Бойко Т. Ф., Галимзянова Н. Ф. Биотехнологические методы очистки окружающей среды от техногенных загрязнений. Уфа: Реактив, 2000. 100 с.
13. Marmiroli N., McCutcheon S. C. Making phytoremediation a successful technology // Phytoremediation: Transformation and control of contaminants. 2003. P. 85-119. <https://doi.org/10.1002/047127304X.ch3>
14. Prasad M. N. V., Hagemeyer J., Saxena P. K., KrishnaRaj S., Dan T., Perras M. R., Vettakkorumakankav N. N. Phytoremediation of heavy metal contaminated and polluted soils // Heavy metal stress in plants: from molecules to ecosystems. 1999. P. 305-329. https://doi.org/10.1007/978-3-662-07745-0_14
15. Shaw L. J., Burns R. G. Biodegradation of organic pollutants in the rhizosphere // Advances in applied microbiology. 2003. V. 53. P. 1-60.
16. Квеситадзе Г. И., Хатисашвили Г. А., Садунишвили Т. А., Евстигнеева З. Г. Метаболизм антропогенных токсикантов в высших растениях. М.: Наука, 2005. 196 с.

17. Tarabukin D. V. Potential of three plant species for phytoremediation of oil-contaminated soils in northern conditions // *Theoretical and Applied Ecology*. 2023. №2. P. 120-125. EDN DWQPEU. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2023-2-120-125>
18. Лямзин И. Л., Бухарина В. И., Здобякина О. В., Исупова А. А. Влияние высших растений в консорциуме с микроорганизмами на агрохимические показатели при биоремедиации нефтезагрязнённых земель // *Теоретическая и прикладная экология*. 2022. №4. С.166-171. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-4-166-171>
19. Pilon-Smits E. Phytoremediation // *Annu. Rev. Plant Biol.* 2005. V. 56. P. 15-39. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.56.032604.144214>
20. Угрехелидзе Д. Ш. Метаболизм экзогенных алканов и ароматических углеводов в растениях. Тбилиси: Мецниереба, 1976. 223 с.
21. Муратова А. Ю., Турковская О. В., Антонюк Л. П., Макаров О. Е., Позднякова Л. И., Игнатов В. В. Нефтеокисляющий потенциал ассоциативных ризобактерий рода *Azospirillum* // *Микробиология*. 2005. Т. 74. №2. С. 248–254.
22. Турковская О. В., Муратова А. Ю. Биодegradация органических поллютантов в корневой зоне растений // Молекулярные основы взаимоотношений ассоциированных микроорганизмов с растениями. М.: Наука. 2005. С. 180-208.
23. Glick B. R. Phytoremediation: synergistic use of plants and bacteria to clean up the environment // *Biotechnology advances*. 2003. V. 21. №5. P. 383-393. [https://doi.org/10.1016/S0734-9750\(03\)00055-7](https://doi.org/10.1016/S0734-9750(03)00055-7)
24. Arthur E. L. et al. Phytoremediation—an overview // *Critical Reviews in Plant Sciences*. 2005. V. 24. №2. P. 109-122. <https://doi.org/10.1080/07352680590952496>
25. Голубев С. Н., Муратова А. Ю., Турковская О. В., Бондаренкова А. Д., Панченко Л. В. Способ фиторемедиации грунта, загрязненного углеводородами (варианты). RU 2403102. 2009. 2009-05-15. <http://www.findpatent.ru/patent/240/2403102.html>
26. Коронелли Т. В., Комарова Т. И., Ильинский В. В., Кузьмин Ю. И., Кирсанов Н. Б., Яненко А. С. Интродукция бактерий рода *Rhodococcus* в тундровую почву, загрязненную нефтью // *Прикладная биохимия и микробиология*. 1997. Т. 33. №2. С. 198-201.
27. Chaney R. L., Malik M., Li Y. M., Brown S. L., Brewer E. P., Angle J. S., Baker A. J. Phytoremediation of soil metals // *Current opinion in Biotechnology*. 1997. V. 8. №3. P. 279-284. [https://doi.org/10.1016/S0958-1669\(97\)80004-3](https://doi.org/10.1016/S0958-1669(97)80004-3)
28. Salt D. E., Blaylock M., Kumar N. P., Dushenkov V., Ensley B. D., Chet I., Raskin I. Phytoremediation: a novel strategy for the removal of toxic metals from the environment using plants // *Bio/technology*. 1995. V. 13. №5. P. 468-474. <https://doi.org/10.1038/nbt0595-468>
29. Кьосев П. А. Полный справочник лекарственных растений. М.: Эксмо, 2006. 991 с.
30. Wang M. C., Chen Y. T., Chen S. H., Chien S. C., Sunkara S. V. Phytoremediation of pyrene contaminated soils amended with compost and planted with ryegrass and alfalfa // *Chemosphere*. 2012. V. 87. №3. P. 217-225. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.12.063>

References:

1. Kakhramanova, Sh. Sh. K. (2012). Tekhnogennoe zagryaznenie pochv Apsherona. *Akademicheskii vestnik UralNIIproekt RAASN*, (1), 12-17. (in Russian).
2. Pikovskii, Yu. I., Ismailov, N. M., & Dorokhova, M. F. (2022). Osnovy neftegazovoi geokologii. Moscow. (in Russian).
3. Ismailov, N. M., Nadzhafova, S. I. & Gasymova, A. S. (2020). Bioekoklasternye komplekсы dlya resheniya ekologicheskikh, proizvodstvennykh i sotsial'nykh problem (na primere territorii Azerbaidzhana). Moscow. (in Russian).

4. Larionova, N. L., & Breus, I. P. (2006). Fitotoksichnost' pochv, zagryaznennykh uglevodorodami (Obzor literatury). *Gruntoznavstvo.*, (6), 34. (in Russian).
5. Mukatanov, A. Kh., & Rivkin, P. R. (1980). Vliyanie nefi na svoystva pochv. *Neftyanoe khozyaistvo*, 4, 53-54. (in Russian).
6. Kerimov, S. V., Ismailov, N. M., Vasenev, I. I., & Kompanii, U. E. (2008). Funktsional'no-ekologicheskaya otsenka pochv Apsheronского полуострова, zagryaznennykh nefteproduktami. *AgroEkoInfo*, (2), 9-9. (in Russian).
7. Babaev, E. R. (2019). Biodegradatsiya neftezagryaznenii pod vozdeistviem uglevodorodokislyayushchikh mikroorganizmov. *NefteGazoKhimiya*, (1), 48-51. (in Russian).<https://doi.org/10.24411/2310-8266-2019-10109>
8. Akhmedov, V. A. O. (2016). Issledovanie ekologicheskoi obstanovki neftedobyvayushchikh i tekhnogennonarushennykh territorii yugo-zapadnoi chasti Apsheronского полуострова Azerbaidzhana. *Melioratsiya i gidrotekhnika*, (4 (24)), 86-99. (in Russian).
9. Gasanov, K. S., & Gasanov, R. (2020). Vliyanie uglevodorodov legkikh fraktsii nefi na soobshchestvo pochvennykh mikroorganizmov. In *Vysshaya shkola: nauchnye issledovaniya* (pp. 79-83). (in Russian).
10. Kerimov, S. V., & Ismailov, N. M. (2007). Opyt rekul'tivatsii pochv, zagryaznennykh nef'tyu v Azerbaidzhane. *Neftyanoe khozyaistvo Azerbaidzhana*, (7), 61-64. (in Russian).
11. Mamedov, G. M. (2016). Zagryaznenie i agroekologicheskoe sostoyanie kak bazovyi komponent prirodnoi sredy. In *Ekosistemy tsentral'noi Azii: issledovanie, sokhranenie, ratsional'noe ispol'zovanie* (pp. 95-97). (in Russian).
12. Loginov, O. N., Silishchev, N. N., Boiko, T. F., & Galimzyanova, N. F. (2000). Biotekhnologicheskie metody ochistki okruzhayushchei sredy ot tekhnogennykh zagryaznenii. Ufa. (in Russian).
13. Marmiroli, N., & McCutcheon, S. C. (2003). Making phytoremediation a successful technology. *Phytoremediation: Transformation and control of contaminants*, 85-119. <https://doi.org/10.1002/047127304X.ch3>
14. Prasad, M. N. V., Hagemeyer, J., Saxena, P. K., KrishnaRaj, S., Dan, T., Perras, M. R., & Vettakkorumakankav, N. N. (1999). Phytoremediation of heavy metal contaminated and polluted soils. *Heavy metal stress in plants: from molecules to ecosystems*, 305-329. https://doi.org/10.1007/978-3-662-07745-0_14
15. Shaw, L. J., & Burns, R. G. (2003). Biodegradation of organic pollutants in the rhizosphere. *Advances in applied microbiology*, 53, 1-60.
16. Kvesitadze, G. I., Khatisashvili, G. A., Sadunishvili, T. A., & Evstigneeva, Z. G. (2005). Metabolizm antropogennykh toksikantov v vysshikh rasteniyakh. Moscow. (in Russian).
17. Tarabukin, D. V. (2023). Potential of three plant species for phytoremediation of oil-contaminated soils in northern conditions. *Theoretical and Applied Ecology*, (2), 120-125. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2023-2-120-125>
18. Lyamzin, I. L., Bukharina, V. I., Zdobyakhina, O. V., & Isupova, A. A. (2022). Vliyanie vysshikh rastenii v konsortsiume s mikroorganizmami na agrokhimicheskie pokazateli pri bioremediatsii neftezagryaznennykh zemel'. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya*, (4), 166-171. (in Russian). <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-4-166-171>
19. Pilon-Smits, E. (2005). Phytoremediation. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 56, 15-39. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.56.032604.144214>
20. Ugrekhelidze, D. Sh. (1976). Metabolizm ekzogennykh alkanov i aromatischeskikh uglevodorodov v rasteniyakh. Tbilisi. (in Russian).

21. Muratova, A. Yu., Turkovskaya, O. V., Antonyuk, L. P., Makarov, O. E., Pozdnyakova, L. I., & Ignatov, V. V. (2005). Nefteokislyayushchii potentsial assotsiativnykh rizobakterii roda *Azospirillum*. *Mikrobiologiya*, 74(2), 248-254. (in Russian).
22. Turkovskaya, O. V., & Muratova, A. Yu. (2005). Biodegradatsiya organicheskikh pollyutantov v kornevoi zone rastenii. *Molekulyarnye osnovy vzaimootnoshenii assotsiirovannykh mikroorganizmov s rasteniyami*. Moscow, 180-208. (in Russian).
23. Glick, B. R. (2003). Phytoremediation: synergistic use of plants and bacteria to clean up the environment. *Biotechnology advances*, 21(5), 383-393. [https://doi.org/10.1016/S0734-9750\(03\)00055-7](https://doi.org/10.1016/S0734-9750(03)00055-7)
24. Arthur, E. L., Rice, P. J., Rice, P. J., Anderson, T. A., Baladi, S. M., Henderson, K. L., & Coats, J. R. (2005). Phytoremediation—an overview. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 24(2), 109-122. <https://doi.org/10.1080/07352680590952496>
25. Golubev, S. N., Muratova, A. Yu., Turkovskaya, O. V., Bondarenkova, A. D., & Panchenko, L. V. (2009). Sposob fitoremediatsii grunta, zagryaznennogo uglevodorodami (varianty). RU 2403102. 2009-05-15. <http://www.findpatent.ru/patent/240/2403102.html>
26. Koronelli, T. V., Komarova, T. I., Il'inskii, V. V., Kuz'min, Yu. I., Kirsanov, N. B., & Yanenko, A. S. (1997). Introduktsiya bakterii roda *Rhodococcus* v tundrovuyu pochvu, zagryaznennuyu nef'tyu. *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya*, 33(2), 198-201. (in Russian).
27. Chaney, R. L., Malik, M., Li, Y. M., Brown, S. L., Brewer, E. P., Angle, J. S., & Baker, A. J. (1997). Phytoremediation of soil metals. *Current opinion in Biotechnology*, 8(3), 279-284. [https://doi.org/10.1016/S0958-1669\(97\)80004-3](https://doi.org/10.1016/S0958-1669(97)80004-3)
28. Salt, D. E., Blaylock, M., Kumar, N. P., Dushenkov, V., Ensley, B. D., Chet, I., & Raskin, I. (1995). Phytoremediation: a novel strategy for the removal of toxic metals from the environment using plants. *Bio/technology*, 13(5), 468-474. <https://doi.org/10.1038/nbt0595-468>
29. K'osev, P. A. (2006). Polnyi spravochnik lekarstvennykh rastenii. Moscow. (in Russian).
30. Wang, M. C., Chen, Y. T., Chen, S. H., Chien, S. C., & Sunkara, S. V. (2012). Phytoremediation of pyrene contaminated soils amended with compost and planted with ryegrass and alfalfa. *Chemosphere*, 87(3), 217-225. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.12.063>

Работа поступила
в редакцию 02.04.2024 г.

Принята к публикации
10.04.2024 г.

Ссылка для цитирования:

Гасимова А. С. Бактеризация семян *Medicago sativa* L. и *Cynodon dactylon* (L.) Pers. при проведении процесса фиторемедиации нефтезагрязненных почв // Бюллетень науки и практики. 2024. Т. 10. №5. С. 90-101. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/102/12>

Cite as (APA):

Gasimova, A. (2024). Study of Bacterization of *Medicago sativa* L. and *Cynodon dactylon* (L.) Pers. During the Process of Phytoremediation of Oil-contaminated Soils. *Bulletin of Science and Practice*, 10(5), 90-101. (in Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/102/12>