

УДК 631.46:631.445.55./56:632.122.2(479.24)

БИОАССИМИЛЯЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ СЕРО-БУРЫХ ПОЧВ АПШЕРОНСКОГО ПОЛУОСТРОВА ПРИ ЗАГРЯЗНЕНИИ ИХ СЫРОЙ НЕФТЬЮ РАЗЛИЧНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

© 2021 г. З. П. Гасанова¹, Ч. З. Багирова¹, С. И. Наджаfoва¹, *

¹ Институт микробиологии НАН Азербайджана
AZ 1004 Баку, ул. М. Мушвига, 103, Республика Азербайджан

*E-mail: nadjafovas@yahoo.com

Поступила в редакцию 11.02.2021 г.

После доработки 23.03.2021 г.

Принята к публикации 11.05.2021 г.

Приведены результаты исследования ассимиляционного потенциала серо-бурых почв Апшеронского промышленного региона при загрязнении их нефтью различных месторождений Азербайджана. Результаты показали, что нефти различных месторождений подвергаются биоассимиляции и разложению в соответствии с определенной закономерностью: чем меньше плотность и чем меньше смолисто-асфальтеновых фракций, тем более доступны они для аборигенных углеводородокисляющих микроорганизмов, тем выше ассимиляционный потенциал и скорость самоочищения серо-бурой почвы в случае их загрязнения. Ассимиляционный потенциал серо-бурых почв Апшеронского промышленного региона по отношению к нефтяным углеводородам в зависимости от компонентного состава нефти можно расположить в следующий ряд: нефть месторождения Сураханы > нефть месторождения Балаханы > нефть месторождения Нефтяные камни > нефть месторождения Нафталан. Таким образом, установлено, что наиболее высок ассимиляционный потенциал серо-бурых почв в случае загрязнения нефтью месторождения Сураханы, наиболее слаб в почве при загрязнении сырой нефтью месторождения Нафталан.

Ключевые слова: почва, нефть, месторождение, микроорганизмы, самоочищение почв, ассимиляционный потенциал.

DOI: 10.31857/S000218812108007X

ВВЕДЕНИЕ

Одним из важнейших факторов сохранения биосферы и обеспечения ее устойчивости является ассимиляционный потенциал природных ландшафтов – это их самовосстановительная способность по отношению к поступлению в природную среду вещества и энергии в результате производственной деятельности. Фактически ассимиляционный потенциал является свойством экологических систем “сопротивляться” внешним воздействиям. Ассимиляционный потенциал – это буферность компонентов природных ландшафтов (атмосферы, водных источников, почвы) в отношении различных антропогенных воздействий в определенных масштабах без изменения своих основных свойств длительный период времени [1, 2].

Продолжительность существования большей части токсических веществ в окружающей среде ограничена. За счет происходящих в биосфере физико-химических и биологических процессов

эти вещества разлагаются и могут включаться в естественный биогеохимический цикл [3, 4]. Ассимиляционный потенциал окружающей среды рассматривается как экологический ресурс [5], а также в качестве классификационного признака геоэкологического состояния ландшафтов [6].

Количественная оценка ассимиляционного потенциала почв является наиболее сложной задачей, это связано с тем, что в почву попадает огромное количество различных токсичных веществ, и скорости их ассимиляции разные. Поэтому методы количественной оценки этого вида ассимиляционной емкости в научных исследованиях пока не разработаны. В научной литературе пока лишь предлагают модель по распределению весовых коэффициентов между компонентами ассимиляционного потенциала, разработан метод количественной оценки ассимиляционной емкости почв в отношении тяжелых металлов (ТМ) [7].

Нефть и нефтепродукты признаны основными загрязнителями окружающей среды [8]. Природные ресурсы Азербайджана, сконцентрированные в основном на Апшеронском п-ве и Каспии, продолжают интенсивно разрабатывать. Скорость и масштабы этого процесса беспрецедентны. В настоящее время в стране используют 37 месторождений на суше и 17 в азербайджанском секторе Каспийского моря, из недр добыто >1.4 млрд т нефти. Техногенное давление нефти и нефтепродуктов на территории Азербайджана в настоящее время составляют ≈ 40 т/км² [9]. Исследования показали наличие сложного комплекса экологических проблем на территории Апшеронского промышленного региона, в том числе в связи с интенсивным развитием нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности [9]. На всех этапах добычи, транспортировки нефти и нефтепродуктов имеет место загрязнение углеводородами природных ландшафтов, прежде всего почвенного покрова. Достаточно отметить такой факт: за более чем 150-летний период добычи углеводородных ресурсов на Апшеронском п-ве были загрязнены нефтью и нефтепродуктами и вышли из оборота по некоторым данным >25–30 тыс. га некогда плодородных земель. Наряду с загрязнением атмосферы, водных объектов и др. компонентов ландшафтов, загрязнение почвенного покрова определяет то, что Апшеронский п-ов характеризуется “критически экологической напряженностью”, а степень загрязнения атмосферы превышает ИЗА в 14 раз [10].

Принимая во внимание, что рекультивация нефтезагрязненных почв на Апшеронском п-ве, восстановление их биологических свойств и экологических функций является для данного региона одной из важнейших проблем экологии, становится все более актуальной проблема разработки технологий ликвидации последствий загрязнения ландшафтов нефтью и нефтепродуктами и восстановления биопотенциала нарушенных экосистем. В настоящее время биологические методы очистки компонентов ландшафтов, в том числе почвенного покрова, от загрязняющих веществ признаны экологически наиболее привлекательными и эффективными [11, 12]. В этой связи научный интерес представляет оценка ассимиляционного потенциала, самоочищающей способности нефтезагрязненных серо-бурых почв Апшеронского п-ва т.е. их углеродоемкость, способность ассимилировать и обезвреживать загрязнение в зависимости от типа нефти.

Принимая во внимание определяющую роль почвенных микроорганизмов, деструкторов углеводородных загрязнений, цель работы — оценка

интенсивности микробного разложения сырой нефти различных месторождений Азербайджана, которая отличается по своим физико-химическим свойствам, в серо-бурой почве, характерной для Апшеронского п-ва.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Основным объектом исследования была серо-бурая почва, *Qypisic calcisols soils* — основной тип почв, распространенный на Апшеронском п-ве. Образцы серо-бурой почвы отбирали на территории Центрального ботанического сада Академии наук. В соответствии с ГОСТ 28329-89, ботанический сад — это озелененная территория специального назначения, на которой размещается коллекция древесных, кустарниковых и травянистых растений для научно-исследовательских и просветительных целей (ГОСТ 28329-89) [13]. Основные характеристики серо-бурых почв: разная степень засоленности, высокая карбонатность, реакции почвенного раствора — сильно щелочная (рН 8.7–9.0), содержание гумуса в верхнем горизонте — 0.80–1.14%, плотность — 1.10–1.24 г/см³, удельный вес — 2.54–2.65 г/см³, емкость поглощения — 13.6–21.0 мг-экв/100 г [10].

В лабораторных условиях образцы почвы искусственно загрязняли 4-мя типами сырой нефти разных месторождений: Балаханской масляной, Сураханской, Нефтяных камней, Нафталана.

Основной метод исследования — метод лабораторного моделирования. В стеклянные сосуды объемом 300 мл вносили почву массой 250 г, в них вносили испытуемые нефти разных месторождений из расчета 20 г/кг почвы (степень загрязнения — 2%) и тщательно перемешивали. Данная степень загрязнения считается средним уровнем загрязнения [14]. Сосуды помещали в термостат и выдерживали при постоянной температуре в 26°C в течение 3-х мес. Сосуды периодически увлажняли до 40% ППВ. Через каждые 30 сут после начала эксперимента отбирали пробы почв из каждого экспериментального сосуда и в них определяли 2 показателя: содержание остаточных углеводов и интенсивность дыхания почвы. Дыхание почвы определяли по интенсивности продуцирования углекислого газа по методу [15]. Анализ остаточного содержания нефти в почве проводили гравиметрическим методом в аппарате Соклета после экстракции смесью растворителей — гексан : хлороформ = 1 : 1 (об.%) по Лурье [16].

В модельных экспериментах использовали чистые культуры углеводородокисляющих микроорганизмов, выделенных из серо-бурых почв Апшеронского п-ва, относящихся к роду *Pseudomonas* sp.,

Таблица 1. Физико-химические свойства сырой нефти и химический состав нефти разных месторождений [18–20]

Тип нефти	Показатели			
	плотность, P_4^{20}	содержание парафинов	содержание смол и асфальтенов	содержание ароматических углеводородов
Балаханская масляная	0.8760	0.7	16.0	7.8
Сураханская	0.8488	13.2	8.0	5.2
Нефтяные камни	0.8870	1.0	24.1	9.9
Нафталан	0.9395	–	14.2	85.8

Таблица 2. Ассимиляционный потенциал серо-бурой почвы по отношению к нефтяным углеводородам при загрязнении сырой нефтью разных месторождений

Вид нефти	Исходное содержание	Время биодegradации, сут					Разложение, % от исходного за 180 сут
		30	60	90	120	180	
	г/кг почвы						
Балаханская масляная	20	18.7 ± 0.3	17.1 ± 0.4	16.7 ± 0.2	14.0 ± 0.2	12.0 ± 0.1	38.0 ± 0.5
Сураханская	20	18.0 ± 0.4	16.0 ± 0.5	14.0 ± 0.2	12.0 ± 0.2	8.4 ± 0.2	58.0 ± 0.6
Нефтяные камни	20	18.5 ± 0.3	17.0 ± 0.3	16.5 ± 0.2	15.0 ± 0.2	13 ± 0.2	31.5 ± 0.4
Нафталан	20	19.0 ± 0.1	18.0 ± 0.2	17.0 ± 0.1	16.0 ± 0.2	14 ± 0.2	27.5 ± 0.3

хранящихся в коллекции микроорганизмов Института микробиологии – № 8, 11, 14, 16 и 18. Штаммы испытывали на их способность расти в чашках Петри на минеральной среде Раймонда в присутствии различных типов нефти. Состав минеральной среды Раймонда, г/л: Na_2CO_3 – 0.1, $CaCl_2$ – 0.01, $MnSO_4 \cdot 7H_2O$ – 0.02, $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ – 0.02, NaH_2PO_4 – 1.5, K_2HPO_4 – 1.0, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ – 0.2, NH_4NO_3 – 2.0, вода дистиллированная – до 1 л [17]). Разлитую среду предварительно перед посевом подсушивали для предотвращения образования сливающегося роста культур. В качестве посевного материала использовали 3-суточные культуры, выращенных на МПА. Посев осуществляли методом штриха последовательно на 3 чашки Петри, культивирование проводили в термостате при 26°C в течение 5 сут. Интенсивность роста культур на нефти определяли визуально по 5-балльной шкале. За показатель роста микроорганизмов на питательной среде принимали интенсивность сплошного налета и количество изолированных колоний.

Все лабораторные эксперименты проводили в 3-х повторностях. Достоверность полученных результатов определяли с помощью *t*-критерия Стьюдента, статистическую обработку проводили в программе Microsoft Excel 2002.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Групповой состав и физико-химические свойства нефти различных месторождений Азербайджана, которые разрабатывают как на суше, так и на море, сильно отличались (табл. 1).

Результаты показали, что ассимиляционный потенциал серо-бурой почвы при загрязнении ее сырой нефтью различных месторождений различался. Наиболее интенсивно процесс деградации углеводородов проходил в случае загрязнения почвы нефтью месторождения Сурахан, наиболее медленно – в почве при загрязнении сырой нефтью месторождения Нафталан, что могло быть связано с различием компонентного состава исследованных образцов нефти (табл. 2). Эти данные подтверждены результатами определения интенсивности дыхания почв при загрязнении их сырой нефтью разных месторождений (рис. 1).

Нефть месторождения Нафталан разлагалась в почве по сравнению с нефтью других месторождений наиболее медленно, что можно объяснить ее особенностями, отличавшими ее от других образцов нефти: высокая плотность, высокое содержание ароматических и нафтеновых углеводородов делает ее мало доступной для углеводородокисляющих микроорганизмов; кроме этого, известны бактерицидные свойства этой нефти

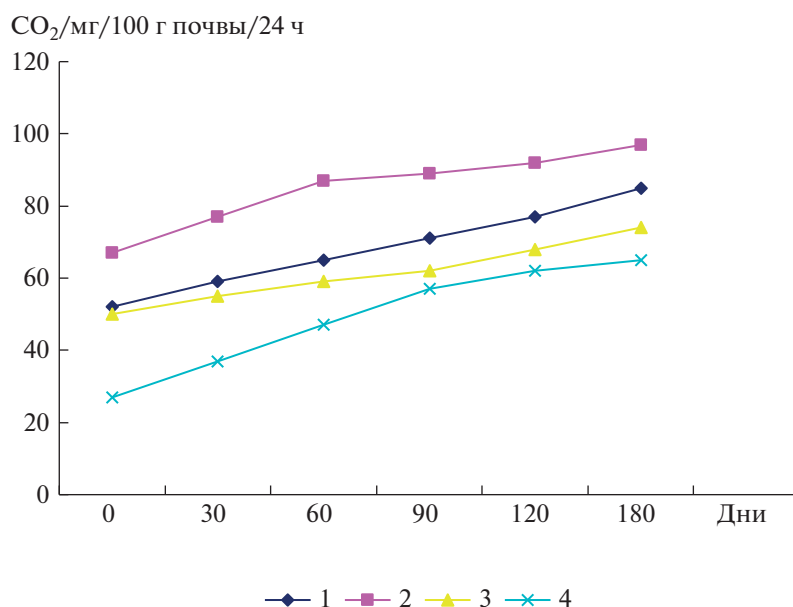


Рис. 1. Интенсивность дыхания почв при загрязнении сырой нефтью разных месторождений: 1 – Балаханы, 2 – Сураханы, 3 – Нефтяные камни, 4 – Нафталан.

[20], что делает эту нефть малодоступной для углеводородокисляющих микроорганизмов.

Результаты модельного исследования показали, что *n*-парафины были наиболее доступными для микробного окисления по сравнению с ароматическими углеводородами. Способность культур углеводородокисляющих микроорганизмов к росту на среде с сырой нефтью различных месторождений представлена в табл. 3. Показано, что для всех испытанных штаммов углеводородокисляющих микроорганизмов (УОМ) был характерен интенсивный рост на средах с сырой нефтью Сураханского месторождения. По сравнению с нефтью Сураханы сырая нефть Балахан-

ского месторождения использовалась несколько слабее. Рост всех испытанных УОМ на сырой нефти других месторождений был относительно слабым (Нефтяные камни) и очень слабым (Нафталан).

Отмечено, что образцы нефти различных месторождений подвергались биоассимиляции и разложению в серо-бурой почве в соответствии с определенной закономерностью: чем меньше была их плотность и чем больше было в их составе парафиновых углеводородов, чем меньше смолисто-асфальтеновых фракций, тем более доступными они были для аборигенных углеводородокисляющих микроорганизмов и тем больше был

Таблица 3. Рост и развитие углеводородокисляющих микроорганизмов на образцах сырой нефти различных месторождений Азербайджана

Культура УОМ, №	Месторождение нефти			
	Балаханская масляная	Сураханская	Нефтяные камни	Нафталан
	Интенсивность роста			
8	+++	++++	++	+
11	+++	++++	++	+
14	+++	++++	++	+
16	+++	++++	++	+
18	+++	++++	++	+

Примечание. (+) – слабый рост, (++) – средний рост, (+++) – хороший рост, (++++) – интенсивный рост, УОМ – углеводородокисляющие микроорганизмы.

ассимиляционный потенциал и скорость самоочищения серо-бурой почвы в случае ее загрязнения.

Таким образом, ассимиляционный потенциал серо-бурых почв Апшеронского промышленного региона в зависимости от компонентного состава нефти можно расположить в следующий ряд: нефть месторождения Сураханы > нефть месторождения Балаханы > нефть месторождения Нефтяные камни > нефть месторождения Нафталан.

В соответствии с классификацией компонентов нефти по их способности к биодеградации [21], нефти Сураханского и Балаханского месторождений можно отнести к “высокочувствительным” к воздействию микроорганизмов, а нефти месторождений Нефтяные камни и Нафталан – к “устойчивым” и “высокоустойчивым” соответственно.

При разработке проектов рекультивации нефтезагрязненных почв необходимо учитывать поправочные коэффициенты их биогенности, а также почвенно-экологические индексы самоочищения [22]. Например, для серо-бурых почв в случае их загрязнения сырой нефтью разного компонентного состава в зависимости от их биодоступности они могут изменяться в пределах 0.078–0.234.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, ассимиляционный потенциал серо-бурых почв в первую очередь при прочих равных условиях определяется их биогенностью. Биогенность серо-бурых почв Апшеронского п-ва в связи со слабой степенью гумусированности, неблагоприятным соотношением тепла и влаги и др. показателями, характерными для почвенного покрова аридных зон, невысока. Ассимиляционный потенциал серо-бурых почв Апшеронского промышленного региона в случае их загрязнения сырой нефтью в процессе нефтедобычи, транспортировки и переработки зависит от компонентного состава нефти: наиболее интенсивно процесс самоочищения почв проходит для нефти, содержащей наибольшее количество *n*-парафиновых углеводородов. Серо-бурые почвы Апшеронского п-ва смогут выдержать более высокие нагрузки при загрязнении нефтью Сураханского месторождения, чем нефтью других месторождений. Даже в пределах одного и того же типа почв показатели техногенных нагрузок будут различными в зависимости от компонентного состава загрязняющих нефтей.

Результаты данного исследования будут крайне полезны для установления ПДК для различных типов почв Азербайджана. Несмотря на то,

что страна является многие десятилетия нефтедобывающей и через ее территорию проложены 3 экспортных нефтепровода (БТД, СМЭТ и ЗМЭТ), в Азербайджане величины ПДК нефти до сих пор не установлены, в то время как эти нормативы официально определены в РФ, Татарстане и во многих западно-европейских странах. Вероятно, что при установлении ПДК необходимо будет использовать дифференцированный подход и учитывать как природно-климатические условия региона, определяющие ассимиляционную емкость поглощения углеводородных загрязнителей, так и их компонентный состав.

Принимая во внимание различие в ассимиляционном потенциале почвенного покрова в отношении нефтяного загрязнения для территорий нефте-газодобывающих предприятий (они занимают ≈1.4% от всей территории Апшеронского п-ва, которая составляет 2110 км²) необходим индивидуальный подход при разработке принципов и технологий их очистки с целью ускорения процессов реабилитации почвенного покрова.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Брезгин В.С.* Оценка динамики ассимиляционного потенциала водосборной территории Ивано-Арахлейских озер // Ивано-Арахлейские озера на рубеже веков (состояние и динамика). Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2013. 320 с.
2. *Астраханцев Г.П., Менишуткин В.В., Минина Т.Р., Полосков В.Н.* Ассимиляционный потенциал природной среды и водные ресурсы // Экономический рост, ресурсозависимость и социально-экономическое неравенство. Мат-лы IV Всерос. конф. СПб., 2014. С. 16–21.
3. *Голуб А.А., Струкова Е.Б.* Экономика природопользования. М.: Аспект Пресс, 2001. С. 163–185.
4. *Гусев А.А.* Современные экономические проблемы природопользования. М.: Международ. отношения, 2004. С. 120–130.
5. *Клименко Т.А.* Ассимиляционный потенциал окружающей среды как экологический ресурс. Механизм распределения прав собственности на ассимиляционный потенциал. Краснодар, 2014. <http://www.allbest.ru> (дата обращения: 19.10.2018).
6. *Романова Э.П., Аляутдинов А.Р., Либерман М.А.* Биологическая емкость как индикатор геоэкологического состояния ландшафтов (на примере Германии) // Пробл. регион. экол. 2012. С. 32–40.
7. *Ярош О.Б.* Механизмы оценки ассимиляционного потенциала почв Украины // Уч. зап. Таврического нац. ун-та им. В.И. Вернадского. Сер. экономика и управление. 2014. Т. 27 (66). № 4. С. 176–184.
8. *Израэль Ю.А., Ровинский Ф.Я.* Комплексный фоновый мониторинг в СССР // Тр. III Международ. симп. “Комплексный мониторинг состояния в биосфере”. Ташкент, 1986. Т. 1. С. 89.

9. *Исмаилов Н.М., Наджафова С.И., Гасимова А.* Апшеронский промышленный регион – факторы экологической напряженности // *Аридн. экосист.* М., 2015. Т. 21. № 3. С. 92–100.
10. Экологический атлас Азербайджанской Республики. Баку, 2009. 112 с.
11. *Исмаилов Н.М.* Научные основы практической экобиотехнологии. М.: ИНФРА-М, 2020. 414 с.
12. *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.
13. ГОСТ 28329–89. Озеленение городов. Термины и определения. М., 1999.
14. О порядке определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами. Письмо Минприроды России № 04-25/61-5678 от 27.12.1993.
15. *Звягинцев Д.Г., Асеева И.Б., Бабьева И.П., Мирчинк Т.Г.* Методы почвенной микробиологии и биохимии. М.: Изд-во МГУ, 1980. 224 с.
16. *Лурье Ю.Ю.* Аналитическая химия промышленных сточных вод. М.: Химия, 1984. 448 с.
17. *Розанова Е.П., Назина Т.Н.* Углеводородоокисляющие бактерии и их активность в нефтяных пластах // *Микробиология.* 1982. Т. 51. С. 342–348.
18. Карманный справочник нефтепереработчика. Л.: Химия, 1989. 463 с.
19. *Самедова Ф.И., Гусейнова Б.А.* Азербайджанские нефти новых месторождений и их гетероатомные соединения. Баку: Элм, 2009. 324 с.
20. *Мурадов А.Н.* Получение биологически активных веществ на основе лечебной нафталанской нефти // *Наука вчера, сегодня, завтра: Мат-лы VII Международ. научн.-практ. конф / Под ред. Гулина А.И.* Новосибирск: СибАК, 2013. № 7 (7). С. 6–10.
21. *Oudot J.* Rates of microbial degradation of petroleum components as determined by computerized capillary gas chromatography and computerized mass-spectrometry // *Mar. Environ. Res.* 1984. V. 13. P. 277–302.
22. *Исмаилов Н.М., Гасимова А.С.* Самоочищающая способность почв от нефти и нефтепродуктов в зависимости от структуры углеводов // *Аридн. экосист.* 2016. Т. 22. № 4 (69). С. 73–80.

Bioassimilative potential of Gray-Brown Soil of Absheron Peninsula during Their Contamination with Raw Oil of Various Deposits

Z. P. Hasanova^a, Ch. Z. Bagirova^a, and S. I. Nadjafova^{a, #}

^a *Institute of Microbiology of NAS of Azerbaijan M. Mushviga str. 103, Baku AZ 1004, Republic of Azerbaijan*

[#] *E-mail: nadjafovas@yahoo.com*

The results of the study of the assimilation potential of gray-brown soils of the Absheron industrial region when they are polluted with oil from various fields of Azerbaijan are presented. The results showed that the oils of various fields undergo bioassimilation and decomposition in accordance with a certain pattern: the lower the density and the smaller the resinous-asphaltene fractions, the more accessible they are to native hydrocarbon-oxidizing microorganisms, the higher the assimilation potential and the rate of self-purification of gray-brown soil in the event of their contamination. The assimilation potential of the gray-brown soils of the Absheron industrial region in relation to petroleum hydrocarbons, depending on the component composition of the oil, can be arranged in the following row: oil of the Surakhani field > oil of the Balakhani field > oil of the Oil Stones field > oil of the Naftalan field. Thus, it is established that the assimilation potential of gray-brown soils is the highest in the case of oil pollution of the Surakhani field, and the weakest in the soil in the case of crude oil pollution of the Naftalan field.

Key words: soil, oil, field, microorganisms, soil self-purification, assimilation potential.