



ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ГРУНТОВ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ ВЫСОКОВЯЗКОЙ ТЯЖЕЛОЙ НЕФТЬЮ

**А.Х.Сафаров, Г.Г.Ягафарова, Л.Р.Акчурина*,
Н.С.Минигазимов, Д.И.Ягафарова**

Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия

Promising Directions of Soil Reclamation Contaminated with High-Viscosity Heavy Oil

A.Kh.Safarov, G.G.Yagafarova, L.R.Akchurina, N.S.Minigazimov, D.I.Yagafarova*

Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia

Abstract

This article focuses on current issues of protecting the environment from the negative impact of oil industry enterprises. The results of the analysis of the biological treatment of soils contaminated with heavy oil are presented in the research. The treatment was made using consortium of indigenous oil-degrading bacteria (IODB). It is shown that the use of the IODB consortium provides a high degree of bio-treatment of oil-contaminated soils. An analysis of the fractional composition of the original and biodegraded oil showed that IODBs can use not only alkanes, naphthenes and aromatic compounds, but also heavier fractions, such as resins and asphaltenes, as a source of carbon and energy.

Keywords:

Heavy oil;
Biotransformation;
Microbiological composition;
Indigenous oil-degrading bacteria;
Resins;
Asphaltenes;
Aromatic and
polyaromatic compounds.

© 2020 «OilGasScientificResearchProject» Institute. All rights reserved.

В связи с постепенным истощением традиционно применяемых энергетических георесурсов в мире, все больший интерес представляют тяжелые нефти и газовые гидраты. Для России этот вопрос является также актуальным. В настоящее время, в нефтедобывающей отрасли, наблюдается снижение добычи легкой нефти и нефти средней плотности. Легко добываемые запасы нефти истощаются быстрыми темпами. Так на сегодня степень выработанности запасов осваиваемых газонефтяных месторождений составляет свыше 60%. По причине возрастающего потребления нефти и нефтепродуктов и постепенным истощением уже разведанных нефтяных месторождений, в экономике РФ становятся востребованными вязкие и сверхвязкие тяжелые нефти [1].

Несовершенство технологий добычи, транспортировки, переработки и хранения нефти неизбежно приводит к ее значительным потерям, и как следствие к отрицательному влиянию на человека и окружающую природную среду [2].

Битумы и тяжелые нефти характеризуются высоким содержанием смолисто-асфальтеновых веществ, ароматических углеводородов, высокими показателями вязкости и плотности, высокой концентрацией металлов и сернистых соединений,

повышенной коксуемостью. Наиболее устойчивыми к различного рода воздействиям являются смолисто-асфальтовые вещества, содержание которых в нефти может достигать до 30 масс.%. Особую группу составляют ароматические и полиароматические соединения в виду их повышенной токсичности [3].

Существующие методы ремедиации нефтезагрязненных почво-грунтов и шламов, такие как механические, физико-химические и биологические не всегда эффективны, ввиду отсутствия универсальности их применения. Так известные физико-химические способы переработки нефтехимических отходов не всегда экономически рентабельны при рекультивации локальных, удаленных объектов, а также при относительно не высоком исходном содержании в них нефти и нефтепродуктов (до 10-11 масс.%) [4]. Биологические методы, основанные на применении известных биопрепаратов, обладают малой эффективностью в отношении тяжелых нефтепродуктов, в частности полиароматических и смолисто-асфальтовых соединений [5].

Решением данной проблемы может стать использование биотехнологических методов, в основе которых лежит технология иницирования и наращивания суспензии аборигенных нефтедеструктурирующих микроорганизмов (АНМО), с последующей их интродукцией в

*E-mail: akchurina_lr@mail.ru

<http://dx.doi.org/10.5510/OGP20200200438>

нефтезагрязненные среды [6].

Целью работы являлось исследование процесса биотрансформации компонентов тяжелой нефти консорциумом АНМО.

АНМО представляют собой дикие штаммы нефтедеструктирующих микроорганизмов, присутствующие в нефтезагрязненных почво-грунтах и нефтешламах. Отличительной особенностью АНМО является их толерантность к высоким концентрациям токсичных нефтяных поллютантов, а также климатическим особенностям региона [7].

Начальным этапом работы было исследование микробиологического состава почво-грунтов, загрязненных тяжелой нефтью. Объектом исследования послужили образцы нефтезагрязненного грунта, отобранные на территории Нижне-Кармального месторождения (Республика Татарстан). Численность органотрофных микроорганизмов в изучаемых образцах почво-грунта измеряли посредством посева на твердые среды (МПА и среда Раймонда). Идентификацию имеющихся в образцах микроорганизмов осуществляли по культуральным, морфологическим и физиологическим показателям в соответствии с [8]. Контрольными пробами выступали незагрязненные образцы, отобранные в непосредственной близости от места загрязнения.

Полученные данные показали что, нефть и нефтепродукты угнетающе влияют на микробиоценозы почв, так численность органотрофных микроорганизмов в нефтезагрязненных средах на 3 – 6 порядков ниже, чем в контрольных незагрязненных пробах. В ходе проведенной работы в нефтезагрязненных образцах было обнаружено 7 родов углеводороддеградирующих бактерий и 3 рода микроскопических грибов. В их числе: бактерии (*Arthrobacter*, *Bacillus*, *Flavobacterium*, *Nocardia*, *Rhodococcus*, *Pseudomonas*, *Streptomyces*), микромицеты (*Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*) и дрожжи (*Candida*). Также установлено, что в почво-грунтах, загрязненных тяжелой нефтью более характерно при-

сутствие бактерий из родов *Bacillus*, *Rhodococcus*, *Pseudomonas*, *Streptomyces* и микромицета *Fusarium*. Данные, полученные по итогам анализа микробиологического состава нефтезагрязненных грунтов позволили разработать технологию инициирования и наращивания суспензии АНМО с ее дальнейшей интродукцией в нефтезагрязненный почво-грунт.

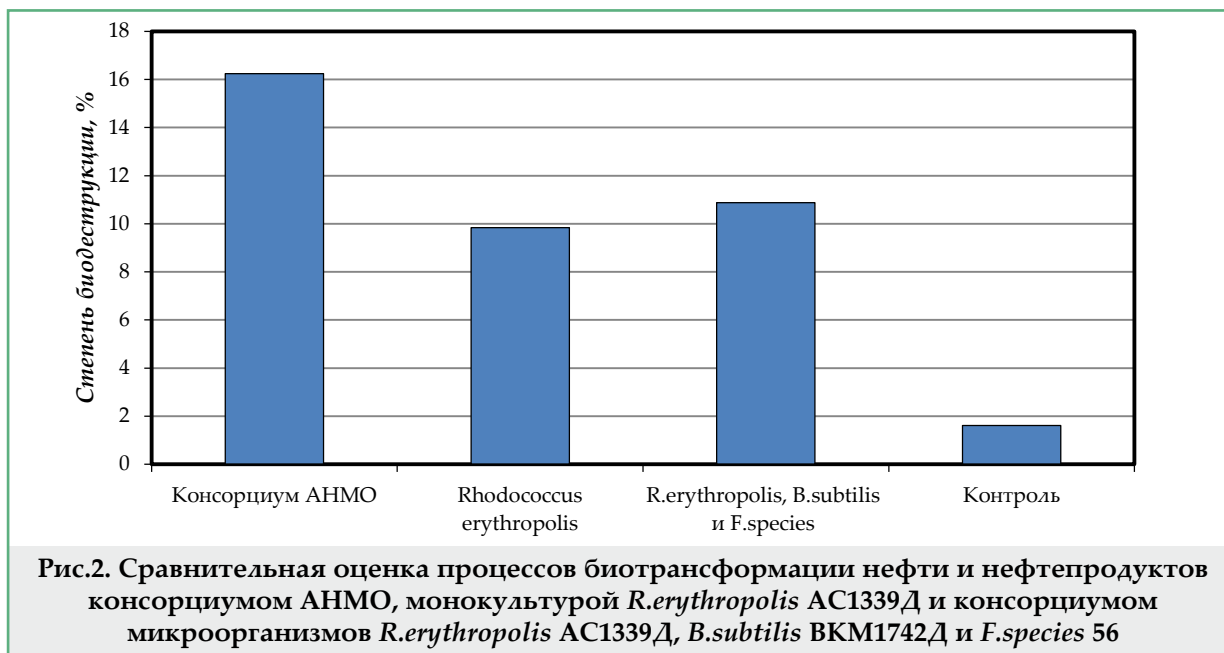
Данная технология содержит следующие пункты:

- забор проб загрязненных нефтью грунтов и шламов;
- внесение отобранных образцов, с присутствующими в них АНМО, в специально разработанную жидкую среду;
- наращивание достаточного объема суспензии АНМО с титром клеток не менее $10^8 - 10^9$ кл/мл;
- последующая интродукция клеточной суспензии обратно в нефтезагрязненный грунт.

Последующей фазой работы было исследование процесса биотрансформации компонентов тяжелой нефти консорциумом АНМО. Эксперимент проводили на модельных и реальных образцах нефтезагрязненного грунта. Для этого готовились чашки с загрязненным грунтом объемом 200 мл. Консорциум АНМО добавляли в нефтезагрязненный грунт по 4% об. Работу выполняли при температуре 26 °С на протяжении 42 суток. Контрольными образцами выступали чашки без добавления микробных культур. Остаточное содержание нефти и нефтепродуктов определяли методом ИК-спектрометрии, после экстракции CCl_4 [9].

Для эксперимента на модельных образцах в качестве изучаемых нефтепродуктов в почвы добавляли легкий газойль, а также тяжелую нефть Нижне-Кармального месторождения с плотностью 0.953 г/см³ и вязкостью 1136 мПа·с. Содержание нефти и нефтепродуктов в модельных образцах составляло: 0.5; 1; 2 и 3 масс.%. Обобщение результатов приведено на рисунке 1.





Исходя из данных представленных на диаграмме (рис.1), можно сделать выводы, что консорциум АНМО обладает высокой нефтеокисляющей активностью относительно тяжелых компонентов нефти. При этом самая высокая интенсивность процесса биодegradации отмечается в образцах с содержанием тяжелых углеводородов до 2 масс.%. Для исследования процессов биотрансформации компонентов тяжелой нефти на реальных образцах, использовали нефтезагрязненные образцы, отобранные на территории Нижне-Кармальского месторождения. Среднее содержание нефти и нефтепродуктов в образцах составило 2.4 масс.%.

Для исследования процессов биотрансформации компонентов тяжелой нефти на реальных образцах, использовали нефтезагрязненные образцы, отобранные на территории Нижне-Кармальского месторождения. Среднее содержание нефти и нефтепродуктов в образцах составило 2.4 масс.%.

Дополнительно, для сравнения, исследовали процесс биотрансформации нефтепродуктов изученными нефтедеструктурирующими штаммами, в частности монокультурой *R.erythropolis* АС1339Д [10], а также консорциумом микроорганизмов *R.erythropolis* АС1339Д, *B.subtilis* ВКМ1742Д и *F.species* 56, взятых в равном соотношении. Контролем выступали чашки без добавления микробных культур. Обобщение полученных результатов приведено на рисунке 2.

Анализируя данные представленные на диаграмме (рис. 2), можно сделать выводы, что применение консорциума АНМО обеспечивает высокую степень биоочистки реальных нефтезагрязненных грунтов. В то же время степень биотрансформации нефти и нефтепродуктов консорциумом АНМО на 8 – 11% выше, чем в испытаниях с монокультурой.

С целью более детального исследования процесса биотрансформации тяжелой нефти было проведено исследование фракционного состава исходной и биодegradированной нефти. Исследование осуществляли с применением тяжелой нефти. Для реализации эксперимента в полную среду Маккланга добавляли вышеуказанную нефть из расчета 1 масс.%. В качестве биодеструктора в среды добавляли консорциум

АНМО. Культивирование проводили при температуре 26 °С. Отбор проб производили спустя 14 и 28 суток.

Анализ фракционного состава исследованных проб проводили методом жидкостно-адсорбционной хроматографии на хроматографе «Градиент-М» в сертифицированной лаборатории АО «Института нефтехимпереработки» РБ. Косвенно о биотрансформации судили по изменению численности органотрофных микроорганизмов растущих на МПА и нефтеокисляющих, растущих на среде Раймонда. Результаты хроматографического анализа приведены в таблице.

Результаты исследования фракционного состава исходной и биодegradированной нефти (табл.) подтверждают, что АНМО могут использовать в качестве источника углерода и энергии не только алканы, нафтены и ароматические соединения, но и более тяжелые фракции, такие как смолы и асфальтены.

Таким образом, биотехнология, включающая использование консорциума АНМО, позволит достичь высокой эффективности очистки грунтов, загрязненных тяжелой нефтью и тем самым оздоровить окружающую среду.

Наименование	Биодеструкция, %	
	15 суток	30 суток
Парафины+нафтены	62.3	97.4
легкая ароматика	74	98.7
средняя ароматика	27.3	97.8
тяжелая ароматика	68.7	73.3
Смолы I	32.4	70.2
Смолы II	13.7	64.7
Асфальтены	43.2	57.6

Литература

1. Липаев, А. А., Янгузарова, З. А. (2007). Разработка месторождений природных битумов. *Альметьевск: АГНИ*.
2. Ягафарова, Г. Г., Акчурина, Л. Р., Федорова, Ю. А. и др. (2011). Повышение эффективности рекультивации нефтезагрязненных грунтов. *Башкирский химический журнал*, 18(2), 72-74.
3. Ягафарова, Г. Г., Леонтьева, С. В., Федорова, Ю. А., Сафаров, А. Х. (2015). Микробная трансформация экотоксикантов. *Уфа: УГНТУ*.
4. Ягафарова, Г. Г., Федорова, Ю. А., Акчурина, Л. Р. и др. (2012). Рекультивация почв, загрязненных высокоминерализованными нефтепромысловыми сточными водами. *Нефтегазовое дело*, 10(2), 137-139.
5. Ягафарова, Г. Г., Мазитова, А. К., Леонтьева, С. В. и др. (2016). Биоремедиация грунтов, загрязненных тяжелой нефтью. *SOCAR Proceedings*, 3, 75 – 80.
6. Ягафарова, Г. Г., Леонтьева, С. В., Гросберг, Я. И. и др. (2010). Способ очистки нефтезагрязненных земель путем использования аборигенных нефтеокисляющих микроорганизмов. *Экология и промышленность России*, 12, 20-21.
7. Ягафарова, Г. Г., Головцов, М. В., Леонтьева, С. В. и др. (2007). Способ выделения и активации консорциума аборигенных микроорганизмов-деструкторов нефти и нефтепродуктов. *Патент РФ 2352630*.
8. Герхардт, Ф. (1983). Методы общей бактериологии. *Москва: Мир*.
9. ПНД Ф 16.1:2.2.22-98. (1998). Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в минеральных, органогенных, органо-минеральных почвах и донных отложениях методом ик-спектрометрии. *Санкт-Петербург: АОЗТ «Спектр-М»*.
10. Ягафарова, Г. Г., Ильина, Е. Г., Леонтьева, С. В. и др. (2005). Способ очистки нефтешлама от нефти и нефтепродуктов. *Патент РФ 2332362*.

References

1. Lipaev, A. A., Yanguzarova, A. Z. (2007). Development of deposits of natural bitumen. *Almetyevsk: AGNI*.
2. Yagafarova, G. G., Akchurina, L. R., Fedorova, Y. A., et al. Enhancing of the effectiveness of remediation of petropolluted soil. *Bashkir Chemistry Journal*, 18(2), 72-74.
3. Yagafarova, G. G., Leonteva, S. V., Fedorova, Yu. A., Safarov, A. H. (2015). Microbial transformation of ecotoxicants. *Ufa: UGNTU*.
4. Yagafarova, G. G., Fedorova, Yu. A., Akchurina, L. R., et al. (2012). Remediation polluted by high-mineralized oilfield sewage. *Oil and Gas Business*, 10(2), 137-139.
5. Yagafarova, G. G., Mazitova, A. K., Leonteva, S. V., et al. (2016). Bioremediation of heavy oil contaminated soils. *SOCAR Proceedings*, 3, 75 – 80.
6. Yagafarova, G. G., Leontyeva, S. V., Grosberg, Ya. I., et al. (2010). The method of oil-contaminated soils cleaning by utilization of indigenous oil-oxidizing microorganisms. *Ecology and Industry of Russia*, 12, 20-21.
7. Jagafarova, G. G., Golovtsov, M. V., Leonteva, S. V., et al. (2007). Method of shedding and activating consortium of native oil and mineral oil decomposing microorganisms. *RU Patent 2352630*.
8. Gerhardt, H. (1983). Manual of methods for general bacteriology. *Moscow: Mir*.
9. PND FT 14.1:2:3:4.2-98. (1998). Metodika opredeleniya toksichnosti vodi po hemotoksicheskoy reaktsii infuzoriy. *GK RF po ohrane okruzhayushey sredi. Sankt-Peterburg: AOZT «Spektr-M»*.
10. Jagafarova, G. G., Il'ina, E. G., Leont'eva, S. V., et al. (2005). Method of oil sludge purification from oil and oil products. *RU Patent 2332362*.

Перспективные направления рекультивации грунтов, загрязненных высоковязкой тяжелой нефтью

*А.Х.Сафаров, Г.Г.Ягафарова, Л.Р.Акчурина,
Н.С.Минигазимов, Д.И.Ягафарова*
Уфимский государственный нефтяной технический
университет, Уфа, Россия

Реферат

Статья посвящена актуальной проблеме защиты окружающей среды от негативного воздействия предприятий нефтепромышленного комплекса. В частности в работе представлены результаты исследования процесса биологической очистки грунтов, загрязненных тяжелой нефтью с использованием консорциума аборигенных нефтедеструктурирующих микроорганизмов (АНМО). Показано, что применение консорциума АНМО обеспечивает высокую степень биоочистки нефтезагрязненных грунтов. Анализ фракционного состава исходной и биодegradированной нефти показал, что АНМО способны использовать в качестве источника углерода и энергии не только алканы, нафтены и ароматические соединения, но и более тяжелые фракции, такие как смолы и асфальтены.

Ключевые слова: тяжелая нефть; биотрансформация; микробиологический состав; аборигенные нефтедеструктурирующие микроорганизмы; смолы; асфальтены; ароматические и полиароматические соединения.

Yüksəközlüklü neflərlə çirklənmiş torpaqların rekultivasiyasının perspektiv istiqamətləri

*A.X.Səfərov, Q.Q.Yaqafarova, L.R.Akçurina,
N.S.Miniqazimov, D.İ.Yaqafarova*
Ufa Dövlət Neft Texniki Universiteti, Ufa, Rusiya

Xülasə

Məqalə neft sənayesi kompleksinin müəssisələrinin neqativ təsirindən ətraf mühitin mühafizəsi kimi aktual problemə həsr edilmişdir. Xüsusilə aborigen (yerli) nefti destruksiya edən mikroorqanizmlər (ANMO) konsorsiumundan istifadə etməklə, ağır neftlə çirklənmiş torpaqların bioloji təmizlənmə prosesinin tədqiqat nəticələri verilmişdir. Göstərilmişdir ki, ANMO konsorsiumunun tətbiqi neftlə çirklənmiş torpaqların yüksək biotəmizlənmə dərəcəsini təmin edir. İlkin və biodeqradasiya olmuş (bioloji parçalanmış) neftin fraksiya tərkibinin təhlili göstərdi ki, ANMO karbon və enerji mənbəyi kimi təkcə alkanlar, naftenlər və aromatik birləşmələr deyil, qatranlar və asfaltənlər kimi daha ağır fraksiyalar da istifadə edə bilərlər.

Açar sözlər: ağır neft; biotransformasiya; mikrobioloji tərkib; aborigen (yerli) neft nefti destruksiya edən mikroorqanizmlər; qatranlar; asfaltənlər; aromatik və poliaromatik birləşmələr.