

Рус. УДК 581.524.5

## **Биотехнологии очистки нефтезагрязненных почв Апшеронского полуострова и интегральный показатель их биологического состояния**

Наджафова С.И., Гасанова З.П., Исмаилов Н.М.

*Институт микробиологии Национальной Академии Наук Азербайджана;*

[nadjafovas@yahoo.com](mailto:nadjafovas@yahoo.com)

### *Аннотация:*

Проведено исследования техногенно нарушенных почв Апшеронского полуострова через интегральный показатель биологического состояния почв (ИПБС) в соответствии с баллами наиболее важных информативных свойств их биологического состояния: ферментативной активности, численности углеводородокисляющих микроорганизмов, соотношения численности углеводородокисляющих микроорганизмов к общей численности, фитотоксичности (всхожесть семян), позволяющий оценить потенциал самоочищающей способности ландшафтов и выбрать путь их реабилитации.

Обработка результатов экспериментов показала, что имеется отрицательная зависимость между показателями степени техногенной нагрузки с биогенностью почв:  $r = -0,75 \pm 0,04$ .

Системный анализ биологических показателей и рассчитанные на их основе ИПБС техногенно нарушенных почв Апшеронского полуострова на территориях нефтегазодобывающих управлений позволил ранжировать почвы по степени устойчивости к антропогенному давлению и способности к самоочищению:

Карадагский район > Сабунчинский и Хазарский районы > Сураханский и Бинагадинский районы > Сабаильский район

В качестве метода биологической рекультивации был использован биопрепарат на основе избыточного активного ила Гоусанинской аэрационной станции. Результаты лабораторных модельных исследований показали, что внесение биопрепарата оказывает положительное воздействие на биологические свойства почв как на микробиологическом, так и ферментативном уровне.

*Ключевые слова:* техногенно нарушенные почвы, интегральный показатель биологического состояния, степень техногенной нагрузки, биопараметры почв, потенциал самоочищения, биопрепарат.

**Eng.** Biotechnologies of oil-polluted soil cleaning of the apsheron peninsula and integral indicator of their biological condition

Nadjafova Samira I., Gasanova Zulfiya P., Ismaylov Nariman M.

Institute of Microbiology, National Academy of Sciences of Azerbaijan; nadjafovas@yahoo.com

### Abstract:

Studies of technologically disturbed soils of the Absheron Peninsula were carried out through the integral indicator of the soil biological state (IPBS) in accordance with the scores of the most important informative properties of their biological state: enzymatic activity, hydrocarbon-oxidizing

microorganism numbers, seed ratio of total hydrocarbon-oxidizing microorganisms to the total number, phytotoxicity, allowing to evaluate the potential of self-cleaning ability of landscapes and choose the way of their rehabilitation.

Processing the results of the experiments showed that there is a negative relationship between the indicators of the degree of anthropogenic load with soil biogenicity:  $r = -0.75 \pm 0.04$ .

The system analysis of biological indicators and IPBS calculated on their basis of technologically disturbed soils of the Absheron Peninsula in the NGDU territories allowed them to be ranked according to the degree of resistance to anthropogenic pressure and ability to self-purification:

Karadag district > Sabunchu and Khazar districts > Surakhani and Binagadi districts > Sabail district

As a method of biological remediation, a biological preparation was used based on excess activated sludge from the Gosaninsky aerator station. The results of laboratory model studies have shown that the introduction of a biological product has a positive effect on the biological properties of the soil at both the microbiological and enzymatic levels.

Keywords: technologically disturbed soils, integral index, degree of anthropogenic load, soil bioparameters, self-purification potential, biological product.

## **Введение**

Добыча, транспортировка и переработка нефти неизбежно приводит к нарушению природных экосистем и замене их на техногенно нарушенные. Примером служат ландшафты Апшеронского полуострова. Апшеронский полуостров – регион Азербайджана, где сосредоточено свыше 70% его промышленного потенциала, размещено более 300 промышленных предприятий, в связи с чем имеются острые экологические проблемы: значительная деградация почв, многочисленные случаи загрязнения поверхности почв и водоемов нефтью, буровыми отвалами и т.п.

На Апшеронском полуострове расположены 6 нефтегазодобывающих управлений (НГДУ): им. З.Тагиева (Хазарский район), Сураханы (Сураханский район), Балаханы (Балаханский район), Бинагади (Бинагадинский район), Биби-Эйбатское (Сабаильский район), им. А.Амирова (Карадагский район). Их общая площадь составляет около 1,4% от всей площади Апшерона. НГДУ окружают столицу страны г.Баку со всех сторон, что делает экологию города «заложником» этих предприятий. В результате многолетнего интенсивного и чрезмерного загрязнения нефтью и нефтепродуктами на Апшероне наблюдается обеднение экосистемы в виде деградированных пастбищ, оголенных площадей с погибшей кустарниковой и эфемерной растительностью [12]. Указанные нефтезагрязненные почвы, как экосистемы, давно перешли в ранг абиогенных ландшафтов, к числу которых можно отнести

нефтенасыщенные, битуминозные керы. Многолетнее загрязнение почв нефтью и нефтепродуктами и их экологические последствия свидетельствует о «сверхнормативной нагрузке» на аридные системы [7]. Процессы саморегуляции давно уже не обеспечивают самовосстановление разрушаемых экосистем, в результате чего произошло нарушение экологического баланса в окружающей среде в условиях все более усиливающегося негативного воздействия на экологические компоненты ландшафтов.

В последние годы особое значение приобретают исследования, направленные на комплексный анализ и оценку антропогенного и техногенного воздействия на почвенный покров [8,6]. Эти исследования позволяют оценить качественное состояние почв через интегральный показатель биологического состояния почв (ИПБС), которые, включая большее число биологических показателей, полнее отражают достоверное экологическое состояние почвенного покрова и позволяют выбрать эффективные пути к их реабилитации. К сожалению, несмотря на многолетнее интенсивное загрязнение нефтью и нефтепродуктами ландшафтов Апшеронского п-ва исследования в этом направлении не проводились.

**Цель исследования** состояла в определении интегрального показателя биологического состояния почв на основе комплексных параметров, определяющих их биологическую активность, и в разработке биотехнологий улучшения этих показателей.

### **Материал и методы исследования**

Объектом исследования служили серо-бурые почвы 6 административных районов Апшеронского полуострова, загрязненные нефтью. Почвенные образцы для аналитических исследований отбирались с периодичностью два раза в год (весной и осенью) с горизонта 0—20 см с территорий НГДУ (нефтезагрязненные почвы), методом маршрута [4, 8].

Для оценки биологического состояния техногенно нарушенных почв был использован метод определения ИПБС [9]. Для расчета ИПБС почвенного покрова в исследуемых районах значение каждого из биологических показателей в контроле (в незагрязненной почве) принимали за 100% и относительно него выражали в процентах значения в остальных вариантах эксперимента (в загрязненных почвах). Затем определяли среднее значение выбранных показателей для каждого варианта. Используемая методика позволяет интегрировать относительные значения разных показателей, абсолютные значения которых не могут быть объединены в единый показатель, так как имеют разные единицы измерения.

В отобранных пробах почв в качестве биологических показателей определяли общую численность микроорганизмов, численность углеводородокисляющих микроорганизмов (УОМ), соотношение численности

УОМ к общей численности, активность ферментов каталазы и дегидрогеназы и фитотоксичность (всхожесть семян). Численность углеводородокисляющих микроорганизмов определяли общепринятыми методами [11]. Активность почвенных ферментов определяли по Хазиеву [14]. Оценка степени фитотоксичности почвы проводили по Д. Гродзинскому [5]. Содержание в почве общих углеводов определяли по стандартному гравиметрическому методу. Экстракцию углеводов из почв проводили в аппарате Сокслета раствором хлороформа и гексана в соотношении объемов 1:1.

В качестве контроля использовали почвенные образцы, отобранные с территории Центрального ботанического сада (Баку), которые не подвергаются техногенному воздействию. В процессе работы анализировали абиогенные факторы, оказывающие воздействие на биологические свойства почв исследуемой территории – температуру, влажность и др. показатели, опубликованные в работах [1,2].

Лабораторный эксперимент по биоочистке проводили методом моделирования. Почвенные образцы для лабораторного эксперимента отбирали в количестве 1 кг с верхнего почвенного слоя 0—20 см. Затем в лабораторных условиях в почву вносили сырую нефть Бинагадинского месторождения в количестве 50 г/кг почв (5% загрязнение), а также по 100 г биопрепарата. Контролем служили почвенные образцы, в которые после искусственного загрязнения нефтью биопрепарат не вносили. Почва инкубировалась в течение 60 дней в термостате при температуре 28°C. Во всех вариантах опыта влажность почв поддерживали на уровне 50—60% от полной полевой влагоемкости путем искусственного увлажнения. Через 60 дней культивирования с каждого сосуда были отобраны средние пробы, в которых проводили биологические анализы.

В качестве биопрепарата использовали избыточный активный ил, адсорбированный на древесных опилках. Численность микроорганизмов в биопрепарате составляла  $1 \times 10^8$  кл/на 1г препарата.

Статистический и корреляционный анализы результатов проводили по Лакину [10].

### **Результаты исследования и их обсуждение**

Апшеронский п-ов является одним из самых засушливых районов Азербайджана. Для региона свойствен климат умеренно теплых полупустынь и сухих степей с сухим летом [1]. Суммарная солнечная радиация изменяется по территории от 130 до 135 ккал/см<sup>2</sup> за год. Среднегодовая температура воздуха на Апшеронском п-ве составляет 13—15°C. Лето протекает жарко, засушливо, продолжительностью в среднем около 150 дней, в то время как зима, ее безморозный период длится в среднем 280 дней, снег держится в среднем 5—7 дней. Сумма осадков за год составляет 120—150 мм, причем максимальное их количество выпадает осенью. Однако довольно высокое термическое

напряжение повсеместно обеспечивает испарение значительно большего количества влаги, чем имеется фактически. Величина этого фактического испарения на значительной части региона составляет 1000—12000 мм/год. Среднегодовая относительная влажность составляет 70%. Часты сильные ветры - бакинский норд, гилавар, хазри. Принято считать нижним пределом силы хазри 6 баллов, что соответствует скорости 10м/сек [1].

Почвенный покров Апшеронского п-ва представлен в основном разновидностями серо-бурых почв [3]. Серо-бурые почвы характеризуются низким содержанием гумуса (1,2—1,8%), щелочной реакцией среды, увеличенным накапливанием глинистых частиц в солонцеватых горизонтах при сравнительном обеднении этими частицами поверхностного горизонта, низкой емкостью поглощения (около 20 мг-экв. на 100 г почвы). Для произрастания растений необходим тщательный уход, удобрение и полив.

Апшеронский п-ов не отличается богатством флоры – разнообразие видов не превышает 19—20% от флористического богатства страны. Для полуострова типичны природные комплексы эфемеровой полупустыни с зимней вегетацией трав. Большинство растительных группировок разреженные, не образуют густого покрова, между ними много голых мест. Лишь 35—40% всей площади покрыты растительностью, а остальные 55—60% лишены растительного покрова.

Принимая во внимание площади, нарушенные в результате антропогенной деятельности (табл.1), нами рассчитан интегральный показатель степени техногенного воздействия на почвенный покров различных НГДУ в сравнительном аспекте.

*Таблица 1—Общая площадь нефтяных месторождений на Апшеронском месторождении [12]*

Название НГДУ	Общее кол-во скважин	Кол-во действующих скважин	Территория месторождений, га	Загрязненная территория
Балаханынефть	1668	1175	2865	2155
А. Д. Амиров	727	417	2050	630
Биби-Эйбат	1131	572	817	817
Бинагадынефть	1524	720	3151	1129
Сураханынефть	622	287	1766	905
Г. З. Тагиев	393	180	1872	655
Всего	6065	3351	12521	5636

Анализ степени загрязнения почвенного покрова в исследуемых почвах Апшеронского п-ва показал, что во всех случаях степень загрязнения нефтью превышала фоновые показатели, принятые для всей территории Азербайджана - 0,1г/кг. Степень загрязненности углеводородами почвенного покрова

различных районов Апшеронского полуострова соответствовала степени их техногенной нагрузки.

Сравнительный анализ антропогенной нагрузки на почвенный покров по степени загрязненности углеводородами в различных районах Апшеронского полуострова позволил расположить их в следующий ряд:

Сабаильский ( 40 —90,05 г/кг почвы ) > Бинагадинский (20—30 г/кг почвы) > Сураханский (15—20г/кг почвы) > Сабунчинский (5—10 г/кг почвы) >Хазарский (3—8 г/кг почвы) > Карадагский (0,9 —1,1 г/кг почвы).

Как видно, наиболее загрязненной углеводородами район является Сабаильский, а наименее загрязненной Карадагский.

Результаты исследования показали, что в почвах Апшеронского полуострова, подвергнутых техногенному воздействию, меняется соотношение углеводородокисляющих микроорганизмов (УОМ)/сапротрофам по сравнению с почвами контроля – Ботанического сада, что свидетельствует о сукцессионных изменениях в структуре почвенного микробиоценоза за счет увеличения численности микроорганизмов, способных разлагать нефтяные углеводороды, в результате чего происходит адаптация микробного ценоза к данным условиям. Это показывает потенциальную способность этих почв к самоочищению от углеводородов (рис. 1).



Рис.1— Соотношение УОМ / сапротрофы:  
а) в почвах различных НГДУ; б) в почвах Ботанического сада.

Оценка состояния почв по биологическим показателям подтвердила снижение биоэкологических функций почв в районах негативного воздействия на почвенный покров территорий НГДУ (табл.2).

Таблица 2 – Биологические показатели почв и ИПБС на территории НГДУ

Район	УОМ, тыс. /гр. почвы	Соотношение УОМ / сапротрофы	Кагалаза, мл O <sub>2</sub> / мин. на г почвы	Дегидрогеназа, мг ТФФ/г почвы за 24 ч	Фитотоксичность, %	ИПБС
Бинагадинский	3,3±0,50x10 <sup>3</sup>	0,26	0,45±0,01	0,13±0,01	72	43
Сабунчинский	2,4±0,11x10 <sup>4</sup>	0,24	0,64±0,03	0,23±0,03	76	62
Хазарский	1,6±0,43x10 <sup>4</sup>	0,31	0,62±0,03	0,51±0,03	78	63
Сураханский	2,7±0,11x10 <sup>3</sup>	0,22	0,47±0,02	0,29±0,02	74	55,6
Карадагский	5,0±0,2x10 <sup>3</sup>	0,24	0,49±0,01	0,29±0,02	82	66
Сабаильский	8,7±0,12x10 <sup>4</sup>	0,33	0,466±0,01	0,52±0,03	70	40
Апшеронский п-в ( в среднем для 6 р-в)	2,3±0,61x10 <sup>4</sup>	0,27	0,56±0,01	0,33±0,03	75	54,9
Ботанический сад- контроль	6,5±0,11x10 <sup>5</sup>	0,13	0,85±0,03	0,54± 0,03	98	100

Примечание: УОМ – численность углеводородокисляющих микроорганизмов

Показатели биологической активности почв и ИПБС (табл.2) были использованы нами для сравнительной оценки потенциала самоочищения почвенного покрова исследуемых территорий по балльной шкале (табл. 3). В зависимости от суммы баллов определены классы актуального состояния почвенного покрова территорий и сделаны соответствующие рекомендации по их восстановлению.

Таблица 3 – Интегральная оценка почвенного покрова по способности к самоочищению

Степень восстанавливаемости почвенного покрова	Сумма баллов	Рекомендации
<b>Самовосстанавливающийся:</b> Карадагский район	≥ 65	Проведение дополнительных мер по рекультивации не требуется

<b>Частично восстанавливающие:</b> Сабунчинский и Хазарский районы	55,7–65	Требуется частичная биологическая рекультивация на отдельных участках
<b>Медленно восстанавливающие:</b> Сураханский и Бинагадинский районы	43,7–55,7	Требуется полное проведение биологического этапа рекультивации
<b>Невосстанавливающиеся:</b> Сабаильский район	≤ 42	Необходимо проведения всего комплекса работ по техническому и биологическому этапам

Как видно из данных таблицы 3, природно-ресурсный потенциал почвенного покрова на территориях Карадагского НГДУ характеризуется способностью к самоочищению в отличие от почвенного покрова Сураханского и Бинагадинского НГДУ

Таким образом, принимая во внимание крайне неблагоприятные почвенно-климатические условия региона – высокую степень аридности и реальные показатели ИПБС на территориях ряда НГДУ актуальна разработка технологий ремедиации этих почв, которые бы оптимизировали физико-химические свойства почв и повышали их биогенность, т.е. ассимиляционную емкость в отношении углеводородных загрязнений.

С этой целью в процессе лабораторных экспериментов в почвенные образцы с территории всех 6 НГДУ вносили разработанный нами биопрепарат. Через 60 дней культивирования с каждого сосуда были отобраны средние пробы, в которых проводили биологические анализы (табл.4).

*Таблица 4 — Воздействие биопрепарата на биологические показатели почв и ИПБС на территории НГДУ*

Район	УОМ, тыс. /гр. почвы	Соотношение УОМ / сапрофиты	Каталаза, мл O <sub>2</sub> / мин. на г почвы	Дегидрогеназа, мг ТФФ/г почвы за 24 ч	Дитоксичность, %	ИПБС
Бинагадинский	6,9±0,41x10 <sup>4</sup>	0,17	0,52±0,01	0,39±0,01	86	73
Сабунчинский	1,5±0,10x10 <sup>5</sup>	0,20	0,71±0,02	0,28±0,03	79	79
Хазарский	9,8±0,22x10 <sup>4</sup>	0,24	0,72±0,01	0,52±0,03	77	91
Сураханский	6,4±0,51x10 <sup>4</sup>	0,19	0,52±0,01	0,35±0,03	78	72



Карадагский	$2,8 \pm 0,1 \times 10^5$	0,24	$0,72 \pm 0,03$	$0,52 \pm 0,01$	80	98
Сабаильский	$1,2 \pm 0,20 \times 10^4$	0,21	$0,52 \pm 0,03$	$0,23 \pm 0,05$	76	69
Апшеронский п-в ( в среднем для 6 р-в)	$1,3 \pm 0,12 \times 10^5$	0,23	$0,62 \pm 0,03$	$0,4 \pm 0,01$	79	85

Примечание: УОМ – численность углеводородокисляющих микроорганизмов

Результаты лабораторных модельных исследований показали, что внесение биопрепарата на основе активного ила оказывает существенное воздействие на биологические свойства почв, отобранных с территорий различных НГДУ: во всех случаях выявлено повышение численности микроорганизмов по сравнению с контрольными образцами нефтезагрязненных почв, не обработанными биопрепаратом. Внесение биопрепарата оказывало положительное воздействие также на активность почвенных ферментов. Во всех вариантах опыта по сравнению с контролем через 60 дней культивирования наблюдали повышение активности всех исследованных ферментов. Интенсификация активности дегидрогеназы и каталазы в почве в варианте после внесения биопрепарата на основе активного ила может служить одним из показателей большей способности почв к восстановлению при загрязнении нефтью.

### **Выводы**

Системный анализ биологических показателей и рассчитанные на их основе ИПБС техногенно нарушенных почв Апшеронского полуострова на территориях НГДУ позволил ранжировать их по степени устойчивости к антропогенному давлению и способности к самоочищению:

Карадагский район > Сабунчинский и Хазарский районы > Сураханский и Бинагадинский районы > Сабаильский район

Для восстановления экобиологических свойств загрязненных почв необходимо проведение дополнительных мер различной интенсивности согласно данным ИПБС.

Биологическую рекультивацию почв с наименьшим показателем ИПБС на территориях исследуемых нами НГДУ наиболее эффективно проводить с использованием биопрепарата на основе избыточного активного ила, что позволит повысить биологическую активность почв как на микробиологическом, так и ферментативном уровне.

### **Список литературы**

1. Агроклиматический атлас Азербайджанской республики. Баку, 1993. 104 с.
2. Бабаев М. П., Наджафова С. И., Ибрагимов А. Г. Использование активного ила для очистки городских почв Баку от нефтяных загрязнений //

- Почвоведение, 2015. № 7. С. 887–894.
3. Галандаров Ч. С. Почвенно-экологические условия и вопросы прогноза почвенных ресурсов Апшеронского п-ва // Автор.... канд с.-х.наук. Баку, 1989. 21с.
  4. ГОСТ 28168-89: Почвы. Отбор проб, 2008.
  5. Гродзинский Д. М. Аллелопатия в жизни растений и почвоутомление. Киев: Наукова думка, 1991. 400 с.
  6. Девятова Т. А. Биоэкологические принципы мониторинга и диагностики почв // Вестник ВГУ: серия химия, биология, формация, 2005. №1. С.105–106.
  7. Исмаилов Н. М. Нефтяное загрязнение и биологическая активность почв // Добыча полезных ископаемых и геохимия природных экосисем. М.: Наука, 1982. С.227–235.
  8. Казеев, К. Ш., Колесников С. И. Биодиагностика почв: методология и методы исследований. Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2012. 260 с.
  9. Колесников С. И., Пономарева С. В., Казеев К. Ш., Вальков В. Ф. Ранжирование химических элементов по степени их экологической опасности для почвы // Доклады РАСХН, 2010. № 1. С. 27–29.
  10. Лакин П. Ф. Биометрия. М.: «Высшая школа», 1990. 343с.
  11. Методы почвенной микробиологии и биохимии / Под ред. Д.Г.Звягинцева. М.: Изд-во МГУ. 1991. 304 с.
  12. Талыбов А. Г. Картографический анализ ландшафтно-экологического условия Апшеронского п-ва. Баку: Чашыюглу, 2004. 191 с.
  13. Терещенко Н. Н. и др. Эколого-биологические аспекты использования полужидкого активного ила для очистки нефтезагрязненных почв // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе, 2009. № 3. С. 47–49.
  14. Хазиев, Ф. Х. Методы почвенной энзимологии. М.: Наука, 2005. 250 с.
  15. Seviour, R., Nielsen P. H. Microbial Ecology of Activated Sludge. London: IWA Publishing Company, 2010. 688 p.

### **Spisok literatury**

1. Agroclimatic atlas of the Republic of Azerbaijan. Baku, 1993.- 104s.
2. Babaev, M. P., Najafova, S. I., Ibragimov, A. G. Use of activated sludge for cleaning Baku's urban soils from oil pollution // Soil Science, Moscow, № 7, 2015.- s. 887–894
3. Galandarov, Ch.S. Soil-ecological conditions and issues of forecasting soil resources of the Absheron Peninsula // Author. Candidate of Agricultural Sciences, Baku: 1989. -21s.

4. GOST 28168-89, 2008.
5. Grodzinsky, D. M. Allelopathy in plant life and soil fatigue // Kiev: Naukova Dumka, 1991. - 400 s.
6. Devyatova, T. A. Bioecological principles of soil monitoring and diagnostics // Bulletin of VSU: a series of chemistry, biology, formation, №1, 2005. - s.105-106
7. Ismailov N.M. Oil pollution and soil biological activity // Mining and geochemistry of natural ecosystems// M.: Science, 1982. - s.227-235.
8. Kazeev, K. Sh., Kolesnikov, S. I. Soil biodiagnostics: methodology and research methods. // Rostov-on-Don: Publishing House of the Southern Federal University. 2012. -260 s.
9. Kolesnikov, S. I., Ponomareva, S. V., Kazeev, K. Sh., Valkov, V. F. The ranking of chemical elements according to their degree of environmental hazard to the soil // Reports of the Russian Academy of Agricultural Sciences. No. 1. 2010. - s. 27–29.
10. Lakin, P.F. Biometrics. // Moscow, ed. "High School", 1990. - 343s.
11. Methods of soil microbiology and biochemistry // Ed. DG Zvyagintsev. -M.: Publishing House of Moscow State University. 1991. - 304s.
12. Talibov, A. G. Cartographic analysis of the landscape-ecological condition of the Apsheron Peninsula // Baku: Chashyoglu, 2004. - 191s.
13. Tereshchenko, N. N. et al. Ecological and biological aspects of using semi-liquid activated sludge for cleaning oil-contaminated soils // Environmental Protection in the Oil and Gas Complex, No. 3, 2009. - s. 47-49.
14. Khaziev, F. Kh. Methods of soil enzymology // M.: Science, 2005. - 250 s.
15. Seviour, R., Nielsen P. H. Microbial Ecology of Activated Sludge. London: IWA Publishing Company. 2010. 688 p.