

Микробиологический мониторинг техногенно загрязнённых водоёмов Апшеронского промышленного региона

© 2021. А. С. Гасимова, к. б. н., в. н. с.,
Н. М. Исмаилов, д. б. н., профессор,
А. Г. Талыблы, к. б. н., доцент,

Институт микробиологии Национальной академии наук Азербайджана,
AZ1073, Азербайджан, г. Баку, Сабаил, Микаил Мушфиг, д. 103,
e-mail: gasimovaa@inbox.ru, ismaylovn@mail.ru, ajdar_talibli@mail.ru

Загрязнение водных объектов антропогенного происхождения на территории Апшеронского промышленного региона является одной из острых проблем. Многие озёра превратились в приёмники сточных и загрязнённых вод, они оказывают негативное воздействие на сопредельные среды – почвенный покров, грунтовые воды и атмосферу всего Апшеронского полуострова, включая столицу страны – г. Баку с его трёхмиллионным населением. Объектом исследований в 2016–2017 гг. были наиболее крупные и загрязнённые озёра Апшеронского полуострова – Бююк-Шор (поверхность водоёма составляет 1300 га) и Зых (20 га). Исследовали структуру микробиоценозов водоёмов, загрязнённых нефтью и нефтепродуктами, и самоочищающую способность озёр. В самоочищении изученных водоёмов большая роль принадлежит нефтеокисляющим микроорганизмам, численность которых в воде колеблется в пределах 10^3 – 10^5 клеток/дм³. Наиболее активное разложение органических веществ в водоёмах происходит летом – осенью. Этому благоприятствует, прежде всего, температурный фактор. Отличие в степени развития микроорганизмов в различных зонах водоёмов связано с высокими показателями содержания загрязняющих веществ углеводородного характера.

Ключевые слова: Апшеронский полуостров, водоёмы, загрязнённость, самоочищение, микроорганизмы, структура микробиоценоза.

Microbiological monitoring of technogenically polluted reservoirs of the Absheron industrial region

© 2021. A. S. Gasimova ORCID: 0000-0002-3339-0733[†]
N. M. Ismailov ORCID: 0000-0003-3438-7648[†]
A. G. Talibly ORCID: 0000-0002-3494-630X[†]

Microbiology Institute of the National Academy of Sciences of Azerbaijan,
103, M. Mushfig, Sabail, Baku, Azerbaijan, AZ1073,
e-mail: gasimovaa@inbox.ru, ismaylovn@mail.ru, ajdar_talibli@mail.ru

The presence of water bodies of anthropogenic origin on the territory of the Absheron industrial region is one of the acute problems. Many lakes have become receivers of wastewater and polluted water, they have a negative impact on adjacent environments – soil cover, groundwater and the atmosphere of the entire Absheron Peninsula, including the capital of the country, Baku, with its three million population. The object of research in 2016–2017 was the largest and most polluted lakes of the Absheron Peninsula – Boyuk-Shor (the surface of this reservoir is 1300 hectares) and Zykh (20 hectares). The research is devoted to the study of the structure of the microbiocenosis of reservoirs contaminated with oil and oil products, biogenicity and their self-cleaning ability. In the self-purification of these reservoirs, oil-oxidizing microorganisms play an important role, the abundance of which in the water of reservoirs ranges from 10^3 to 10^5 cells/dm³. The most active decomposition of organic substances in water occurs in the summer and autumn. This is favored, first, by the temperature factor. The difference in the degree of biogenicity in different zones of water bodies is associated with high levels of hydrocarbon pollutants, namely: in the areas of pollutant intake, self-cleaning ability does not compensate for the rate of their destruction.

Keywords: Absheron Peninsula, water bodies, pollution, self-purification, microorganisms, microbiocenosis structure.

Развитие промышленности и увеличение численности населения на Апшеронском полуострове способствовало интенсивному образованию многочисленных водоёмов антропогенного происхождения. Общая площадь таких водоёмов, загрязнённых отходами производства нефти, составляет около 2196 га, а это 1,3% общей площади Апшеронского полуострова. Ежегодно в них сбрасывается 41,5 млн м³ сточных вод, что ещё более усугубляет экологическую обстановку [1].

Внутренние водоёмы Апшеронского полуострова – Беюк-Шор, Зых и др. – загрязнены нефтью и нефтепродуктами (1,5–14 ПДК), фенолами (3–32 ПДК), детергентами (до 2 ПДК), синтетическими поверхностно активными веществами (3–4 ПДК) [2]. Среди разнообразия загрязняющих веществ особую опасность для биоты водных объектов и качества поверхностных вод в данном регионе представляют нефтепродукты, легкие углеводороды, масла, асфальтены, биоциды, соли и др. [3, 4].

Одним из наиболее ценных свойств природных вод является их способность к самоочищению. Самоочищение водоёмов – это сложный процесс, состоящий из одновременно протекающих физических, химических и биологических процессов, определяющую роль в которых играют микроорганизмы (МО). В современном представлении самоочищение воды обеспечивается главным образом совокупной деятельностью населяющих их организмов: бактерий, микроводорослей, высших водных растений и др. [5–7], которые формируют эко- и биологическую полноценность вод. В связи с этим одной из важных задач в установлении биологического равновесия является всестороннее глубокое познание законов превращения и круговорота веществ, а также потока энергии в водных экосистемах [8–9].

Принимая во внимание наличие большого числа водоёмов на территории Апшеронского промышленного региона, а также степень антропогенного и техногенного давления на них за последние десятилетия [2], становится актуальной проблема разработки технологий по восстановлению их природных качеств, в том числе современных биотехнологий.

Учитывая, что МО являются индикаторами загрязнения природных биотопов нефтью и нефтепродуктами и являются активными участниками в процессах их самоочищения, цель исследований заключалась в изучении структуры и ассимиляционного потенциала

микробиоценоза углеводородокисляющих и гетеротрофных МО и их способности к деградации нефти и нефтепродуктов в загрязнённых водоёмах Апшеронского полуострова. Наличие и активность этих МО может свидетельствовать не только об актуальном уровне потенциала самоочищения водоёмов, но и возможности разработки биотехнологий повышения степени их самоочищающей способности с использованием этих групп МО в управляемом режиме.

Объекты и методы исследования

Объектом исследований на протяжении 2016–2017 гг. были наиболее крупные и загрязнённые озёра Апшеронского полуострова – Беюк-Шор (поверхность данного водоёма составляет 1300 га) и Зых (20 га). Пробы воды для проведения микробиологических исследований отбирали с поверхностных горизонтов (0–20 см), в соответствии с общими требованиями к отбору поверхностных и морских вод по ГОСТ 17.1.5.05–85 [10]. Из оз. Беюк-Шор отобрано четыре пробы – две из северной части и две из южной. Из оз. Зых – пять проб.

Гетеротрофные бактерии выявляли на твёрдой мясопептонной агаризованной среде (МПА) в чашках Петри методом глубинного посева. Учёт количества МО осуществляли методом непосредственного подсчёта колоний МО, выросших на твёрдой среде [11]. Определение углеводородокисляющих МО проводили на жидкой минеральной среде следующего состава (г/дм³): NH₄NO₃ – 2,0; MgSO₄ · 7 H₂O – 0,2; KH₂PO₄ – 2,0; NaH₂PO₄ – 3,0; CaCl₂ · 6 H₂O – 0,01; CaCl₂ · 6H₂O и Na₂CO₃ – 0,1; MnSO₄ · 5H₂O – 2,0; FeSO₄ · 7H₂O – 1% раствора, дистиллированная вода – 1 дм³. 1% растворы FeSO₄, CaCl₂, MnSO₄ готовили отдельно и вносились в среду непосредственно перед посевом [3]. Микробиологические анализы проводили в соответствии с общепринятыми методами [13, 14].

Химический анализ воды проводили в соответствии с общепринятыми методами [15]. Измерение массового содержания углеводов выполнено методом ИК-фотометрии с использованием концентратомера КН-2. Методика измерений основана на выделении эмульгированных и растворённых нефтяных компонентов из воды экстракцией четырёххлористым углеродом, на хроматографическом отделении нефтепродуктов от сопутствующих органических соединений других классов на колонке, заполненной оксидом алюминия,

с последующим количественным определением их массовой концентрации по интенсивности поглощения С-Н связей в инфракрасной области спектра на концентратометре КН-2. Диапазон определяемых концентраций нефтепродуктов (НП) от 0,02 до 2,00 мг/дм³. Анализ компонентного состава нефтяных загрязнений в пробах вод определяли по [16].

Эксперименты проведены в трёх повторностях. Результаты экспериментов обрабатывали статистическим методом с применением программ Statistica V6.0 для Windows Excel 2003. При оценке статистической достоверности средних полученных данных использовали *t*-критерий Стьюдента.

Результаты и обсуждение

Результаты исследований показывают, что во всех 9 пробах вод, отобранных из водоёмов, обнаруживается наличие общих углеводородов. Максимальное содержание в воде общих углеводородов (25,1–28,9 мг/л) было в пробах вод, отобранных из оз. Беюк-Шор (табл. 1). Наиболее интенсивное загрязнение углеводородами обнаруживается в южной части этого водоёма. Распределение углеводородов в оз. Зых неравномерно. Наиболее интенсивное

загрязнение обнаружено в северной и восточной частях оз. Зых.

Содержание углеводов в пробах вод различается в зависимости от места отбора проб воды. Зональное отличие содержания в водах водоёмов загрязняющих веществ может свидетельствовать о местах поступления этих поллютантов в водоёмы: для оз. Беюк-Шор вероятно поступление загрязняющих веществ в его южной части, для оз. Зых – в северной части. Это свидетельствует о том, что наиболее загрязнены углеводородами воды оз. Беюк-Шор. Именно это озеро в течение десятилетий находится под постоянным техногенным давлением, что связано с воздействием нефтяных месторождений на Апшеронском полуострове.

Согласно нормативам, принятым в Азербайджане, ПДК содержания нефтяных углеводородов для такого вида водоёмов составляет 0,05 мг/л. Степень загрязнения исследуемых водоёмов в разы превышает ПДК содержания нефтяных углеводородов в водах такой категории.

Результаты показали, что экстрагируемые нефтяные углеводороды присутствуют в воде в самых разных формах. Часть нефти находится в виде истинного раствора ($C_{\text{раств.}}$), другая – в эмульгированном виде ($C_{\text{эмул.}}$), третья – в сор-

Таблица 1 / Table 1

Содержание общих углеводородов в пробах вод
Total hydrocarbon content in water samples

№ проб Sample No.	Пункты отбора проб вод Water sampling points	Содержание общих углеводородов в пробах вод, мг/дм ³ The total hydrocarbon content in water samples, mg/dm ³			
		зима winter	весна spring	лето summer	осень autumn
Озеро Беюк-Шор / Boyuk Shor Lake					
1	Проба 1 (южная часть) Sample 1 (southern part)	28,9±0,3	23,9±0,4	18,9±0,3	23,9±0,4
2	Проба 2 (южная часть) Sample 2 (southern part)	25,1±0,4	20,1±0,2	15,1±0,2	23,1±0,4
3	Проба 3 (северная часть) Sample 3 (northern part)	0,20±0,03	0,20±0,01	0,20±0,01	0,20±0,02
4	Проба 4 (северная часть) Sample 4 (northern part)	0,30±0,02	0,30±0,03	0,30±0,02	0,30±0,02
Озеро Зых / Zikh Lake					
6	Проба 1 (северная часть) Sample 1 (northern part)	0,30±0,02	0,30±0,02	0,30±0,02	0,30±0,02
7	Проба 2 (южная часть) Sample 2 (southern part)	0,30±0,02	0,30±0,02	0,30±0,02	0,30±0,02
8	Проба 3 (северная часть) Sample 3 (northern part)	1,3±0,2	1,20±0,09	1,0±0,02	1,10±0,06
9	Проба 4 (восточная часть) Sample 4 (east part)	7,3±0,9	6,3±0,9	5,1±0,3	6,0±0,4
10	Проба 5 (западная часть) Sample 5 (west side)	0,30±0,02	0,30±0,02	0,30±0,02	0,30±0,02

Таблица 2 / Table 2

Среднегодовая численность и биомасса сапротрофных и нефтеокисляющих микроорганизмов в пробах воды (2016 г.) / Average annual numbers and biomass of saprotrophic and oil-oxidizing microorganisms in water samples (2016)

№ проб Sample No.	Пункты отбора проб вод Water sampling points	Численность микроорганизмов, КОЕ/см ³ (над чертой) и их биомасса, мг/л (под чертой) The number of microorganisms, CFU/cm ³ (above the line) and their biomass, mg/L (below the line)	
		сапротрофы, КОЕ/см ³ saprotrophs, CFU/cm ³	НОМ* клеток/см ³ ООМ* cells/cm ³
Озеро Бейук-Шор / Lake Boyuk Shor			
1	Проба 1 (южная часть) Sample 1 (southern part)	$(3,0 \pm 2,1) \cdot 10^4$ 54	$(3,0 \pm 1,8) \cdot 10^3$ 32
2	Проба 2 (южная часть) Sample 2 (southern part)	$(3,0 \pm 2,3) \cdot 10^4$ 55	$(3,0 \pm 1,7) \cdot 10^3$ 31
3	Проба 3 (северная часть) Sample 3 (northern part)	$(3,0 \pm 2,1) \cdot 10^5$ 66	$(3,0 \pm 1,4) \cdot 10^4$ 36
4	Проба 4 (северная часть) Sample 4 (northern part)	$(3,0 \pm 2,4) \cdot 10^6$ 72	$(3,0 \pm 1,5) \cdot 10^5$ 41
Озеро Зых / Lake Zikh			
6	Проба 1 (северная часть) Sample 1 (northern part)	$(3,0 \pm 1,9) \cdot 10^6$ 74	$(3,0 \pm 2,2) \cdot 10^5$ 54
7	Проба 2 (южная часть) Sample 2 (southern part)	$(3,0 \pm 2,1) \cdot 10^5$ 55	$(3,0 \pm 2,4) \cdot 10^4$ 34
8	Проба 3 (северная часть) Sample 3 (northern part)	$(3,0 \pm 1,8) \cdot 10^4$ 44	$(3,0 \pm 2,6) \cdot 10^3$ 30
9	Проба 4 (восточная часть) Sample 4 (eastern part)	$(3,0 \pm 1,9) \cdot 10^4$ 42	$(3,0 \pm 2,3) \cdot 10^3$ 26
10	Проба 5 (западная часть) Sample 5 (western side)	$(3,0 \pm 1,7) \cdot 10^4$ 41	$(3,0 \pm 2,5) \cdot 10^3$ 24

Примечание: *НОМ – нефтеокисляющие микроорганизмы.
Note: *ООМ – oil-oxidizing microorganisms.

бироваанном на органических и минеральных взвесах виде (C_{взв.}), четвёртая – в виде нефтяных агрегатов (C_{агр.}). Эти формы различаются как по количественному содержанию нефти, так и по качественному составу нефтяных углеводородов.

В состав общих углеводородов входят как парафиновые (в основном C₁₂–C₂₂), а также ароматические углеводороды (в основном моно- и дициклические углеводороды). В составе остаточных углеводородов преобладают парафиновые углеводороды – они составляют около 45–56% от состава углеводородов. Ароматические соединения составляют порядка 35–41% от состава углеводородов. Остальную часть составляют фракции, кипящие при температуре выше 350 °C. Анализ результатов, показывает, что в составе общих углеводородов в пробах вод, отобранных в водоёме наибольшего техногенного давления – оз. Бейук-Шор – доля ароматических углеводородов и асфальтенов выше, чем в водах оз. Зых. Это свидетельствует о том, что в составе углеводо-

родных загрязнений повышается доля трудно разлагаемых углеводородов, которые могут потенциально оседать на дно и долгое время оставаться вне зоны воздействия аэробных МО. Потенциально это будет способствовать повышению степени загрязнённости дна водоёма трудно разлагаемыми углеводородами и негативным воздействием на водную биоту.

Во всех пробах поверхностных вод озёр Бейук-Шор и Зых присутствует сапрофитная микрофлора и углеводородокисляющие микроорганизмы (УОМ), использующие сырую нефть в качестве единственного источника углерода и энергии. Численность сапрофитных и УОМ варьировала в зависимости от места отбора проб.

Результаты исследований показывают, что наибольшее количество сапрофитных МО в водах озёр Бейук-Шор и Зых достигало $3,0 \cdot 10^6$ КОЕ/см³, а численность УОМ составляла 10^3 – 10^5 клеток/дм³ в зависимости от места поступления загрязнений и степени их разбавления в водной среде исследуемых

водоёмов. Данные микробиологического анализа за 2016 г. представлены в таблице 2. Различие в степени биогенности в различных зонах водоёмов, вероятно, может быть связано с высокими показателями содержания загрязняющих веществ углеводородного характера, а именно: в зонах поступления поллютантов самоочищающаяся способность не поспевает за деструкцией поступающих поллютантов.

Известно, что водоёмы, содержащие до 10^3 КОЕ/см³ углеводородоокисляющих бактерий, относятся к чистым, водоёмы, содержащие до 10^7 клеток/см³ – к загрязнённым [17]. Согласно полученным нами данным, количество нефтеокисляющих бактерий в воде исследуемых водоёмов варьировало от 10^3 до 10^5 кл./см³, что даёт основание отнести указанные водоёмы к категории загрязнённых.

Численность и биомасса сапротрофных МО в вегетационный период в воде была в 10–20 раз выше, чем зимой, возможно, это связано с температурным фактором. Судя по полученным данным, со снижением температуры вод озёр понижается численность МО почти в 2–3 раза (табл. 3), что совпадает с литературными данными [6, 18, 19].

Результаты исследований показали, что наибольшая численность сапротрофных и нефтеокисляющих бактерий фиксируется на станциях, подверженных сильной антропогенной нагрузке.

Данные по деструкции органического вещества в воде исследуемых водоёмов показали, что наиболее активно разложение органических веществ в воде исследуемых водоёмов происходит летом и осенью (1,5–1,9 мгС/дм³сут.).

Доминирующая роль в процессах деструкции принадлежит УОМ, которые окисляют углеводороды и промежуточные продукты, а также гетеротрофной микрофлоре, участвующей в деструкции простых органических веществ. Полученные нами результаты совпадают с литературными данными [6, 12, 20].

Также изучена способность выделенных МО разлагать сырую нефть. В ходе исследований из проб воды, отобранных в различных зонах водоёмов, были выделены МО, растущие на жидких и плотных средах с нефтью. Просмотр посевов из накопительных культур на агаризованной среде позволил выделить доминирующие штаммы. Из 16 выделенных

Таблица 3 / Table 3

Численность сапротрофных микроорганизмов в водоёмах Апшеронского полуострова по сезонам года (2017 г.)
The number of saprotrophic microorganisms in water bodies Absheron Peninsula by the seasons of the year (2017)

№ проб Sample No.	Пункты отбора проб вод Water sampling points	Общая численность микроорганизмов, КОЕ/см ³ The total number of microorganisms, CFU/cm ³			
		зима winter	весна spring	лето summer	осень autumn
Озеро Бюк-Шор / Boyuk Shor Lake					
1	Проба 1 (южная часть) Sample 1 (southern part)	$(2,1 \pm 1,5) \cdot 10^2$	$(2,2 \pm 1,8) \cdot 10^4$	$(2,0 \pm 2,3) \cdot 10^5$	$(2,2 \pm 1,9) \cdot 10^4$
2	Проба 2 (южная часть) Sample 2 (southern part)	$(2,2 \pm 1,3) \cdot 10^2$	$(2,4 \pm 1,6) \cdot 10^4$	$(2,0 \pm 2,4) \cdot 10^5$	$(2,1 \pm 2,2) \cdot 10^4$
3	Проба 3 (северная часть) Sample 3 (northern part)	$(2,9 \pm 1,1) \cdot 10^2$	$(2,6 \pm 1,4) \cdot 10^4$	$(2,4 \pm 2,1) \cdot 10^5$	$(2,3 \pm 2,4) \cdot 10^4$
4	Проба 4 (северная часть) Sample 4 (northern part)	$(2,0 \pm 5,5) \cdot 10^2$	$(2,3 \pm 1,2) \cdot 10^5$	$(2,3 \pm 2,5) \cdot 10^6$	$(2,2 \pm 1,9) \cdot 10^4$
Озеро Зых / Zikh Lake					
6	Проба 1 (северная часть) Sample 1 (northern part)	$(2,3 \pm 1,4) \cdot 10^2$	$(2,0 \pm 1,7) \cdot 10^5$	$(2,0 \pm 2,1) \cdot 10^6$	$(2,2 \pm 1,9) \cdot 10^4$
7	Проба 2 (южная часть) Sample 2 (southern part)	$(2,5 \pm 1,6) \cdot 10^3$	$(2,0 \pm 1,9) \cdot 10^5$	$(2,4 \pm 2,3) \cdot 10^5$	$(2,4 \pm 2,1) \cdot 10^5$
8	Проба 3 (северная часть) Sample 3 (northern part)	$(2,1 \pm 1,8) \cdot 10^3$	$(2,0 \pm 2,1) \cdot 10^4$	$(2,2 \pm 2,6) \cdot 10^5$	$(2,2 \pm 2,3) \cdot 10^5$
9	Проба 4 (восточная часть) Sample 4 (eastern part)	$(2,8 \pm 1,4) \cdot 10^3$	$(2,0 \pm 1,7) \cdot 10^4$	$(2,8 \pm 2,1) \cdot 10^5$	$(2,0 \pm 2,5) \cdot 10^5$
10	Проба 5 (западная часть) Sample 5 (western side)	$(2,7 \pm 1,6) \cdot 10^3$	$(2,0 \pm 1,9) \cdot 10^4$	$(2,0 \pm 2,3) \cdot 10^5$	$(2,1 \pm 2,1) \cdot 10^5$

культур были выявлены 7 наиболее активных. Проведён скрининг штаммов бактерий, наиболее активно разлагающих сырую нефть в качестве единственного источника углерода и энергии (рис.).

Основными представителями УОМ являются бактерии родов *Micrococcus*, *Pseudomonas*, *Rhodococcus*.

Наибольшее число культур было отнесено к роду *Pseudomonas* sp. Род *Pseudomonas* sp. представлен четырьмя штаммами микроорганизмов – №№ 45, 21, 33, 64, род *Rhodococcus* sp. – двумя №№ 7, 12, род *Micrococcus* sp. – одним штаммом № 22.

Результаты работ показали, что 3 штамма хорошо потребляли сырую нефть – около 72–76% (№№ 45, 21, 33 – представители рода *Pseudomonas* sp.) активность остальных 4 культур была несколько слабее – около 55–58% (№ 64 – представитель рода *Pseudomonas* sp.; №№ 7, 12 – представители рода *Rhodococcus* sp. и № 22 – представитель рода *Micrococcus* sp.).

Заключение

Высокая степень загрязнения вод исследуемых водоёмов на Апшеронском полуострове углеводородными веществами подтверждается количеством нефтеокисляющих бактерий в воде – от 10^3 до 10^5 кл./см³.

Выявлено, что наибольшая численность сапротрофных и нефтеокисляющих бактерий обнаруживается на станциях, подверженных сильной антропогенной нагрузке. Вместе с тем, как показали результаты биомониторинга, в результате постоянного загрязнения в водах исследуемых водоёмов сформировался активный углеводородокисляющий бактериоценоз, который играет определённую роль в разложении органических загрязнений. Деструкция органических веществ в водоёмах хотя и имеет место – в пределах 0,1–1,7 мгС/(дм³ · сут), однако скорость этого процесса не может обеспечить очистку водоёмов от постоянно поступающих загрязнений. Следовательно, водоёмы Апшеронского полуострова, загрязнённые органическими и неорганическими веществами – углеводородами, фенолами, детергентами, СПАВ и др., характеризуются биологической активностью и определённой актуальной самоочищающей способностью.

Доминирующая роль в процессах деструкции принадлежит представителям УОМ, к которым относятся МО родов *Micrococcus*, *Pseudomonas*, *Rhodococcus*, которые окисляют углеводороды и промежуточные продукты, а также гетеротрофная микрофлора, которые участвуют в деструкции простых органических веществ. Изучение нефтеокисляющей способности показало, что из выделенных

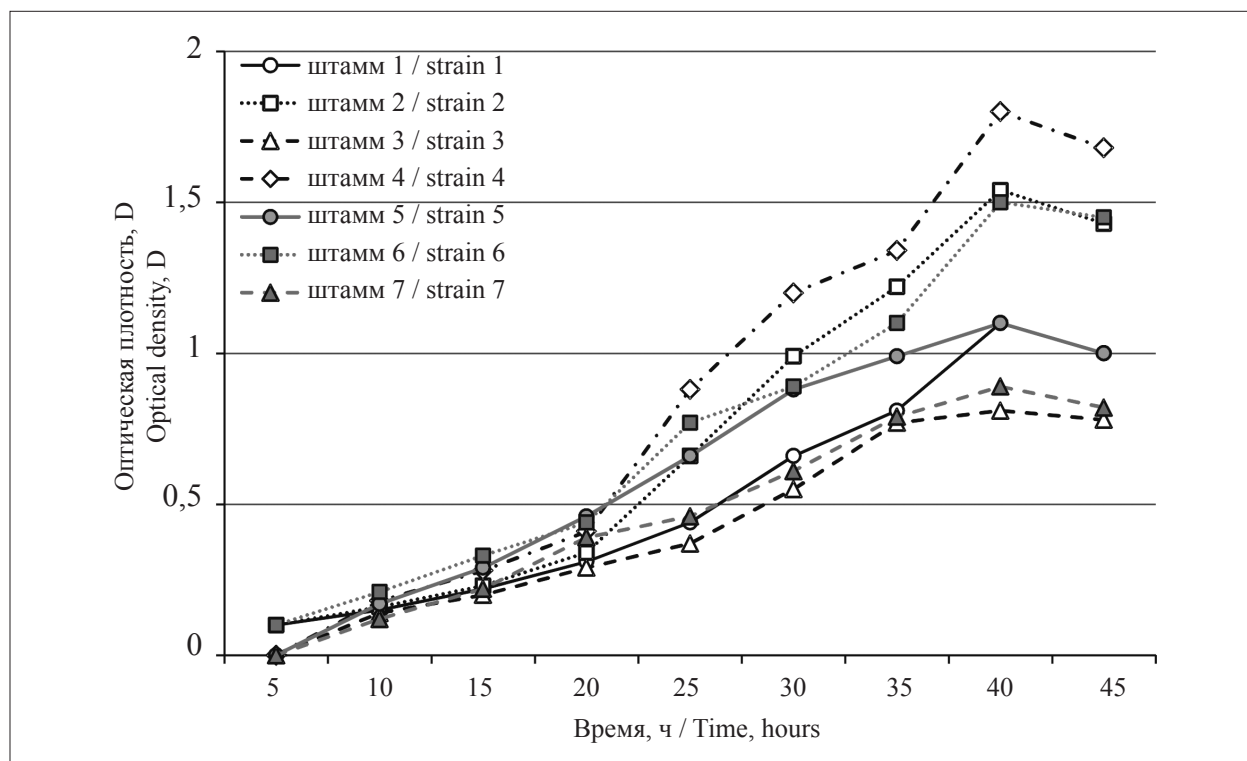


Рис. Интенсивность потребления нефти 7 штаммами
Fig. Oil consumption intensity by 7 strains

16 штаммов 7 культур обладали высокой нефтеокисляющей способностью – больше 70–77%. Исследования свойств этих микроорганизмов открывает перспективы для создания биопрепаратов.

References

1. Talybov A.G. Cartographic analysis of the landscape and ecological conditions of the Absheron Peninsula. Baku: Chashyroglu, 2004. 191 p. (in Russian).
2. Kahramanova Sh.N. The main sources of pollution of lakes in the city of Baku // Akademicheskij vestnik Ural-NIiproekt RAASN. 2012. No. 2. P. 22–29 (in Russian).
3. Voroshilova A.A., Dianova E.V. Oil-oxidizing bacteria – indicators of the intensity of biological oxidation of oil in natural conditions // Mikrobiologiya. 1952. V. 21. No. 4. P. 408–415 (in Russian).
4. Dedkov Yu.M., Nasibulina B.M., Kolesnichenko A.M. The effect of petroleum hydrocarbons on the aquatic ecosystem // Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo oblastnogo universiteta. Ser. Estestvennye nauki. 2006. No. 2. V. Himiya i himicheskaya ekologiya. P. 120–123 (in Russian).
5. Morozov N.V. Ecological biotechnology: purification of natural and wastewater by macrophytes. Kazan: KGPU, 2001. 395 p. (in Russian).
6. Telitchenko M.M. Self-cleaning ponds and water issues // Hydrobiological Journal. 1986. No. 2. P. 137–140 (in Russian).
7. Fyodorov V.D. Pollution of aquatic ecosystems (principles of study and assessment of action) // Samochishenie i bioindikaciya zagryznennyh vod. Moskva: Nauka, 1980. P. 21–38 (in Russian).
8. Evans A.E.V., Hanjra M.A., Jiang Y., Qadir M., Drechsel P. Water quality: Assessment of the current situation in Asia // Int. J. Water Resour. Dev. 2012. V. 28. P. 195–216. doi: 10.1080/07900627.2012.669520
9. Tundisi J.G., Matsumura-Tundisi T., Abe D.S. Ecological dynamics of Barra Bonita reservoir: Implications for its biodiversity // Braz. J. Biol. 2008. V. 68. No. 4. P. 1079–1098. doi: 10.590/S1519-69842008000500015
10. Interstate standard. GOST 17.1.5.05-85. Nature protection (SSOP). Hydrosphere. General requirements for sampling surface and seawater, ice, and precipitation. Moskva: Standartinform, 1985. P. 305–316 (in Russian).
11. Kuznecov S.I., Dubinina G.A. Methods for the study of aquatic microorganisms. Moskva: Nauka, 1989. 288 p. (in Russian).
12. Pozdnyakova N.N., Balandina S.A., Turkovskaya O.V. Degrative activity of fungi towards oil hydrocarbons under high temperature // Theoretical and Applied Ecology. 2019. No. 4. P. 69–75 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2019-4-069-075
13. Workshop on Microbiology / Ed. N.S. Egorova. Moskva: MGU, 1976. 220 p. (in Russian).
14. Workshop on Microbiology / Ed. A.I. Netrusova. Moskva: Akademiya, 2005. 608 p. (in Russian).
15. Methodical instructions of MUC 4.1.1013-01. Determination of the mass concentration of hydrocarbons in water. Moskva, 2001. 16 p. (in Russian).
16. GOST 2177-99. Mineral oils. Determination of the fractional composition. Moskva: IPK, 1999. 23 p. (in Russian).
17. Cherkashin S.A. Some aspects of the influence of oil hydrocarbons on fish and crustaceans // Vestnik Dalnevostochnogo otdeleniya RAN. 2005. No. 3. P. 83–91 (in Russian).
18. Ilinskij V.V. Bacterioplankton of the surface waters of the Central Arctic in the period of the spring calendar // Mikrobiologiya. 1995. V. 64. No. 5. P. 696–704 (in Russian).
19. Espeche M.E., Mac Cormak W.P., Fraile E.R. Factors affecting growth of an *n*-hexadecane degrader *Acinetobacter* species isolated from a highly polluted urban river // Intern. Biodeterioration. 1994. V. 33. No. 2. P. 187–196. doi: 10.1016/0964-8305(94)90037-X
20. Salmanov M.A., Talybly A.G., Gasanov G.F. Biodegradation of oil pollution in the offshore areas // Hydrobiological Journal. 2014. V. 50. No. 2. P. 68–72 (in Russian).