

## ПОЧВЕННАЯ АЛЬГОФЛОРА В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

**БОРУЛЬКО Вячеслав Григорьевич**

доктор технических наук, профессор кафедры техносферной безопасности  
Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева  
г. Москва, Россия

*Цель данной работы стало изучение и оценка биологического разнообразия почвенных альгоценозов антропогенно нарушенных экосистем на примере территории ранее действовавшего нефтеперерабатывающего завода (Республика Башкортостан) На экосистемном уровне под воздействием токсикантов происходит формирование своеобразных альгоценозов, изучение которых позволит дать рекомендации по организации мониторинга и использовать водоросли для ликвидации существующих очагов загрязнения (биоремедиации).*

**Ключевые слова:** водоросли, альгоценозы, антропогенное воздействие, биоремедиация, биоиндикация.

Усиление антропогенного пресса привело к необходимости разработки методов, позволяющих вовремя обнаруживать техногенно обусловленную деградацию природных экосистем, устанавливая долгосрочные тенденции и буферную способность биологических систем в отношении разнообразных и большей частью одновременно действующих нарушающих факторов. Активное использование биологических методов диагностики антропогенных нарушений в настоящее время связано прежде всего с быстрой реакцией организмов на любые отклонения в окружающей среде от нормы. Кроме того, такая реакция позволяет оценить антропогенное воздействие в показателях, имеющих биологический смысл и часто таких, которые можно перенести на человека.

Традиционные подходы к оценке антропогенного влияния на биосферу не учитывают весь цикл существования изделия, в отличие от международных природоохранных стандартов. Что часто является причиной отличий результатов оценки воздействия на экосистемы. В последние годы для характеристики воздействия производственных процессов на окружающую среду широко применяется термин «экологическая эффективность» [2].

Успех природоохранных мероприятий, эффективность экологического прогнозирования и нормирования во многом будут зависеть от используемой системы биодиагностики состояния окружающей среды удобными объекта-

ми, по которым можно судить о происходящих в экосистеме процессах, таковыми являются микроскопические водоросли.

К основным их достоинствам при использовании для целей диагностики и индикации можно отнести такие как:

– широкое распространение в биосфере. В наземных и водных местообитаниях микроскопические водоросли встречаются практически повсюду. Это обитатели почв и первопоселенцы безжизненных субстратов, глубин океанов, континентальных водоемов, горячих источников, снега и льда;

– значительная биосферная роль. Водоросли входят в состав разнообразных гидро- и геобиоценозов, вступая в различные формы взаимосвязей с другими организмами, принимая участие в круговороте веществ, являясь продуцентами первичного органического вещества, служат пищей для гетеротрофных организмов, вступают в сложные трансбиотические взаимоотношения с высшими растениями;

– сходная с высшими растениями физиология. В результате данные, полученные при исследовании, можно экстраполировать на высшие растения, проведенное сравнение альгологического метода с классическим вегетационным, в котором в качестве индикатора применялся овес, показало, что ошибки того и другого метода являются величинами одного порядка. Альгологический метод и

его модификации могут быть использованы там, где непригоден вегетационный метод;

– быстрая реакция на изменение экологической ситуации и небольшая продолжительность жизни. Все это позволяет проследить действие изучаемого фактора на несколько поколений и оценить эффект последствия;

– микроскопические водоросли хорошо растут в лабораторных условиях на искусственных средах и удобны в работе. Они незаменимы при создании микрокосмов, моделировании в лабораторных условиях тех или иных экологических ситуаций, сравнительно легко идентифицируются до вида, что позволяет сопоставлять результаты биотестирования, полученные в различных регионах.

Контроль экологического состояния окружающей среды на основе биоиндикаторов обладает таким рядом преимуществ как способность биоиндикаторов в условиях хронических антропогенных нагрузок реагировать на относительно слабые воздействия вследствие эффекта кумуляции дозы и суммирования действия всех биологически важных факторов антропогенного воздействия и отражения их влияния на состояние окружающей среды в целом. Биоиндикаторы раскрывают тенденции развития экосистем и позволяют определять места скопления токсикантов [7].

Живая система отличается множественностью реагирования на воздействие токсических веществ, включающего такие компоненты, как гомеостатическое уравнивание, буферизация, системы депонирования и связывания токсикантов и многое другое. Эти механизмы срабатывают однозначно, независимо от характера воздействия, но ввиду многообразия функций живого их конкретные выражения могут изменяться как у одного и того же организма при воздействии разных токсикантов, так и у организмов различного систематического положения при воздействии одного и того же токсиканта.

Итоговая картина, формирующаяся в результате взаимодействия живых систем с токсикантами, не равнозначна той, какую рисует одностороннее токсикологическое исследование, не учитывающее сил сопротивления, которыми располагает живая природа. Простые схемы доза-эффект и т. п., хо-

рошо работающие на уровне высокоорганизованных животных, на которых проводят опыты токсикологи-медики, могут оказаться, поэтому мало приемлемыми на надорганизменном уровне. Течение биологических процессов, судьба многих популяций, продуктивные возможности экосистемы, и качество окружающей среды зависят от того, какая из борющихся сил одерживает победу в данных условиях и в данное время [1].

Сдвиг экологического равновесия в ту или иную сторону определяется двумя основными факторами: силой действия токсиканта, зависящей от его химической природы, биологической активности, концентрации, длительности и повторности воздействия – с одной стороны и особенностями реагирования экосистемы и ее отдельных компонентов на эти воздействия – с другой.

Нефтеперерабатывающая промышленность выпускает свыше 250 видов нефтепродуктов. Различают первичные нефтепродукты, получаемые физическими методами переработки нефти, и вторичные, получаемые химическими методами. К основным первичным нефтепродуктам относят бензин, лигроины, мазут, гудрон, битум, парафин, вазелин, газойль, смазочные масла; к вторичным – крекинг-бензин, риформиг-бензин [6; 8].

Бензин оказывает токсическое действие на сообщество почвенных водорослей. Обеднение состава и уменьшение численности и биомассы водорослей находится в прямой зависимости от дозы бензина поступающей в сообщество. При концентрации 0,2 мг/г водоросли на «стеклах обрастания» в эксперименте полностью отсутствовали. Наиболее чувствительными видами оказались *Phormidium autumnale* и *Ph. foveolarum*. Устойчивы к воздействию бензина зеленые из *Chlorococcales* и *Chlorosacinalis* и диатомовые: *Hantzschia amphioxys*, *Navicula pelluculosa*, *Stauroneis anceps*. На диатомовые бензин в концентрации 0,002 мг/г оказывает стимулирующее действие, увеличивается число клеток. А концентрации от 0,002 до 0,1 мг/г приводят к увеличению численности одноклеточных и колониальных зеленых и желтозеленых. По прошествии 4-х месяцев альгогруппировки начинают восстанавливаться.

Положительное или отрицательное воздействие нефтепродуктов чаще всего определяется концентрациями данного вещества в сообществе. Так, в больших концентрациях мазут ингибирует рост, размножение и снижает содержание хлорофилла «а», а в небольших – стимулирует рост и размножение клеток *Nitzschia closterium*. Под влиянием нефтепродуктов (сырая нефть, мазут) в концентрации 10 мл/м более чем в 2 раза уменьшается биомасса альгологически чистых культур зеленых водорослей *Scenedesmus quadricauda*, *Ankistrodesmus falcatus*, *Chlorella vulgaris*, синезеленых – *Anabaena aperioides* и *Oscillatoria redekei*.

В большинстве вариантов под влиянием больших концентраций нефтепродуктов уменьшается численность и биомасса водорослей, количество хлорофилла «а» и увеличивается концентрация связанных аминокислот [3-5].

Исследования сообществ почвенных водорослей проводились на территории ранее действовавшего нефтеперерабатывающего завода (Республика Башкортостан), функционировавшего более 60 лет.

Отбор проб и их обработка производились по стандартной методике. В отобранных почвенных пробах было выявлено 42 вида водорослей, относящихся к 4 отделам. В сообществах, сформировавшихся под воздействием нефтепродуктов доминировали представители отдела *Cyanophyta* (*Cyanobacteria*), которые, как известно, обладают высокой устойчивостью к воздействию нефти и нефтепродуктов. Отдел *Bacillariophyta* представлен лишь одним классом *Pennatophyceae*.

Под воздействием интенсивного нефтезагрязнения формируются сообщества, в которых не выявлено ни одного представителя диатомовых водорослей. Наиболее сильное влияние нефтезагрязнение оказало на желто-зеленые водоросли, которые полностью выпадают в тех пробах, где отмечено длительное и многократное токсическое воздействие нефтепродуктов.

В проанализированных почвенных пробах доминировали следующие виды: *Anabaena* sp., *Phormidium molle*, *Oscillatoria terebriformis*, *Hantzschia amphioxys*, *Chlorococcum dissectum*, *Chlorella vulgaris*. На различных участках территории завода происходит изменение комплекса доминирующих видов. Около механических очистных сооружений значительным обилием характеризовались *Hantzschia amphioxys* и *Palmella microscopica*. Они являются характерными почвенными видами, как правило, обитающими на сильно загрязненных почвах.

Высокий коэффициент общности, определяющий степень флористического сходства, показали пробы, отобранные на одних и тех же учетных площадках, но в различные периоды времени. Наибольший процент флористического состава изученных альгосообществ определяется наличием в почве большого и долгодействующего нефтяного загрязнения. Здесь сформировались сообщества водорослей наиболее адаптированных к воздействию нефтепродуктов.

Для биоремедиации можно использовать следующие виды водорослей: *Anabaena* sp., *Phormidium molle*, *Oscillatoria terebriformis*, *Hantzschia amphioxys*, *Chlorococcum dissectum*, *Chlorella vulgaris*.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Биодиагностика состояния окультуренной городской почвы, загрязненной тяжелыми металлами, методами биоиндикации и биотестирования / Ю.М. Поляк, Л.Г. Бакина, Н.В. Маячкина [и др.] // Почвы и окружающая среда. – 2018. – Т. 1, № 4. – С. 231-242. – DOI 10.31251/pos.v1i4.34.
2. Захарова Е.А. Определение экологической эффективности как механизм оценки воздействия производства на окружающую среду // В сборнике: Интеграция науки и образования в вузах нефтегазового профиля – 2020. Материалы Международной научно-методической конференции, посвященная 75-летию победы в великой отечественной войне. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2020. – С. 138-140.
3. Захарова Е.А. Оценка влияния гидроразрыва пласта на состояние окружающей среды // В сборнике: Интеграция науки и образования в вузах нефтегазового профиля – 2020. Ма-

териалы Международной научно-методической конференции, посвященная 75-летию победы в великой отечественной войне. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2020. – С. 201-203.

4. Кондакова Л.В. Мониторинг альго-цианобактериальных сообществ на техногенной территории / Л.В. Кондакова, Е.В. Дабах // Теоретическая и прикладная экология. – 2022. – № 1. – С. 84-90. – DOI 10.25750/1995-4301-2022-1-084-090.

5. Кондакова Л.В. Мониторинг почвенной альгоцианофлоры на техногенной территории / Л.В. Кондакова, Е.В. Дабах // Теоретическая и прикладная экология. – 2023. – № 2. – С. 47-55. – DOI 10.25750/1995-4301-2023-2-047-055.

6. Лихачева Н.А. Исследование влияния окисленных гуматов на параметры буровых растворов / Н.А. Лихачева, Е.А. Захарова // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. – 2020. – № 4. – С. 69-72. – DOI 10.24411/0131-4270-2020-10413.

7. Шкундина Ф.Б. Водоросли как индикатор загрязненности территории предприятия / Ф.Б. Шкундина, Е.А. Захарова // Экология и промышленность России. – 2002. – № 6. – С. 26-27.

8. Likhacheva N.A. Detoxifying Capacity of Oxidized Humic Substances in Oil-Contaminated Soils / N.A. Likhacheva, E.A. Zakharova // Chemistry and Technology of Fuels and Oils. – 2021. – Vol. 57, No. 3. – P. 487-491. – DOI 10.1007/s10553-021-01271-6.

## SOIL ALGOFLORA OF TECHNOGENIC SOILS

**BORULKO Vyacheslav Grigorievich**

Doctor of Sciences in Technology, Professor of the Department of Technosphere Safety

Russian State Agrarian University –

Moscow State Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev

Moscow, Russia

---

*The purpose of this work was to study and evaluate the biological diversity of soil algocenoses of anthropogenic disturbed ecosystems on the example of the territory of a previously operating oil refinery (Republic of Bashkortostan) At the ecosystem level, under the influence of toxicants, peculiar algocenoses are formed, the study of which will make it possible to make recommendations on the organization of monitoring and use algae to eliminate existing foci of pollution (bioremediation).*

**Keywords:** algae, algocenoses, anthropogenic impact, bioremediation, bioindication.

---