

УДК 579.26(470.21)

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОЧИСТКИ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ НАРУШЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА

*Н.В. Фокина, А.С. Сошина, В.А. Мязин, А.А. Чапоргина, Е.С. Латюк*

*Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, Россия, г.Апатиты*

Приведены результаты многолетних исследований сотрудников лаборатории экологии микроорганизмов ИППЭС КНЦ РАН возможности использования биотехнологического потенциала аборигенных штаммов микроорганизмов, выделенных из загрязненных сред северных регионов, в следующих отраслях: очистка сточных вод от минеральных соединений азота, фосфора, калия, сульфатов с использованием биотехнологий (потенциал высших растений и микроорганизмов); очистка территорий, загрязненных нефтью и нефтепродуктами (НП), с применением методов биоремедиации и сорбентов в условиях Кольского Севера; биовыщелачивание цветных металлов из бедных руд Мурманской области; проблема влияния микроорганизмов на процессы флотации при обогащении руд.

Ключевые слова: микроорганизмы, биоремедиация, загрязнение, соединения азота, нефтепродукты, обогащение сульфидных и несulfидных руд

## USING BIOTECHNOLOGY TO CLEAN AND RESTORE DISTURBED AREAS OF THE KOLA PENINSULA

*N.V. Fokina, A.S. Soshina, V.A. Myazin, A.A. Chaporgina, E.S. Latyuk*

*Institute of Industrial Ecology Problems of the North, Kola Science Center of the Russian Academy of Sciences, Russia, Apatity*

The article presents the results of long-term research by the staff of the Laboratory of Microorganism Ecology of the INEP KSC RAS on the possibility of using the biotechnological potential of indigenous strains of microorganisms isolated from contaminated environments of the northern regions in the following areas: wastewater treatment from mineral compounds of nitrogen, phosphorus, potassium, sulfates using biotechnology (potential of higher plants and microorganisms); cleaning of territories contaminated with oil and oil products (OP), using bioremediation methods and sorbents in the conditions of the Kola North; bioleaching of non-ferrous metals from poor ores of the Murmansk region; the problem of the influence of microorganisms on flotation processes during ore enrichment.

**Keywords:** microorganisms, bioremediation, pollution, nitrogen compounds, oil products, enrichment of sulfide and non-sulfide ores

### Введение

Микроорганизмы, обладая необычайно высокой физиологической активностью и разнообразием функций, составляют основной генофонд, противостоящий изменениям окружающей среды. Микробиота северных почв отличается рядом специфических черт, обусловленных особенностями среды их обитания [2,8]. Большой интерес проявляется к функционированию микроорганизмов в экстремальных климатических условиях в рамках как изучения механизмов приспособления, так и выделения новых видов и использования их биотехнологического потенциала.

Мурманская область характеризуется уникальным сочетанием природных и антропогенных факторов – суровые климатические условия и интенсивное развитие промышленности. Крупными предприятиями, воздействующими на природные экосистемы Кольского Севера, являются Оленегорский горно-обогатительный комбинат (Олконт),

Кандалакшский алюминиевый завод, Кольская горно-металлургическая компания (Кольская ГМК), Ковдорский и Ловозерский горно-обогатительные комбинаты и Кировский филиал АО «Апатит». Несмотря на то, что в настоящий момент в Мурманской области не ведется добыча нефти, из-за наличия функционирующего морского торгового порта и перевалки нефтепродуктов, актуальным направлением для нашего региона является очистка территорий, загрязненных нефтью и НП.

Возрастание техногенной и антропогенной нагрузки на окружающую среду со стороны промышленного производства ведет к накоплению комплекса экологических проблем, что усугубляется уязвимостью экосистем Арктики, низким потенциалом их самоочищения. В связи с этим на первое место выходят разработки в сфере природоохранных технологий.

Основными направлениями деятельности лаборатории экологии микроорганизмов Института проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН являются изучение микробиологических процессов в системе добычи, переработки, трансформации полезных ископаемых и хранении производственных отходов, а также разработка биотехнологий очистки и ремедиации природных и техногенных сред от широкого спектра загрязняющих веществ.

### Объекты и методы

Исследования по указанным направлениям проводятся в естественных средах тундровой, лесотундровой и таежной зон, а также на территориях, подверженных воздействию выбросов промышленных предприятий, и средах, загрязненных нефтепродуктами (Кольский залив, заповедник «Пасвик», рис. 1).

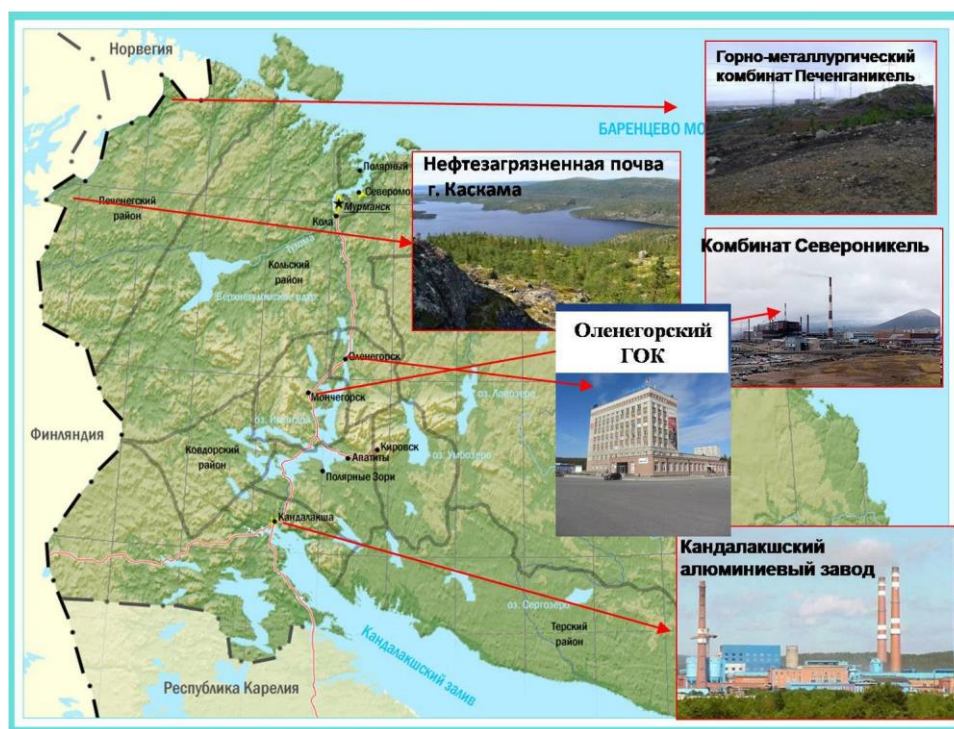


Рис. 1. Районы исследования фоновых и загрязненных территорий.

Для определения состояния окружающей среды проводятся химические и микробиологические анализы. Микробиологический анализ включает определение общей численности бактерий и грибов методами поверхностного и глубинного посева на селективные питательные среды, расчет биомассы бактерий и грибов, а также длины грибного мицелия – методом флуоресцентной микроскопии с использованием поликарбонатных мембранных фильтров. Идентификация микроскопических грибов проводится с использованием световой микроскопии на основе культурально-морфологических признаков с привлечением молекулярно-генетических методов исследований.

### Результаты исследований

Совместно с ПАБСИ КНЦ РАН проводятся исследования по созданию биоплато на прудах-отстойниках Кировогорского карьера АО «ОЛКОН» (г. Оленегорск, Мурманская обл.) и АО «Карельский окатыш» (г. Костомукша, республика Карелия) с целью снижения содержания минеральных соединений азота в сточных карьерных водах [6]. Ежемесячно в отстойник поступает в среднем 5000 – 6000 кг нитратов, 30 – 50 кг нитритов, 60 – 80 кг аммонийного азота. Разрабатываемая нами технология основывалась на создании плавающих биоплато (рис. 2). На данное изобретение были получены патенты РФ № 2560631 и 2773122 [3,4].



Рис. 2. Плавающее биоплато для очистки сточных карьерных вод от минеральных соединений азота.

Для создания фитоценоза биоплато был подобран ассортимент аборигенных растений-гидрофитов: мать-и-мачеха, осоки, пушица многоколосковая или узколистная, п. Шейхцера, вахта трехлистная, белокрыльник болотный, калужница болотная, хвощ топяной, х. болотный, ива филиколистная, и. козья или Бредина, сфагнум, ряска, разработан способ их закрепления и выращивания на водной поверхности в условиях Арктики. В воде пруда выявлены микроорганизмы, трансформирующие минеральные соединения азота и способствующие вместе с растениями снижению концентрации аммонийного и нитратного азота в водоеме. В ходе лабораторных опытов было установлено, что оптимальная величина покрытия водоема растительностью биоплато должна составлять не менее 50% от общей площади очищаемого водоема. В 2021 году общая площадь ФОС составила около 55% от площади отстойников. Содержание нитрат-ионов в результате очистки воды снижалось в среднем на 21%, нитрит-ионов – на 71%, ионов аммония – на 58%. В дальнейшем происходило увеличение площади биоплато за счет новых конструкций в виде садков с мхом (рис.3).

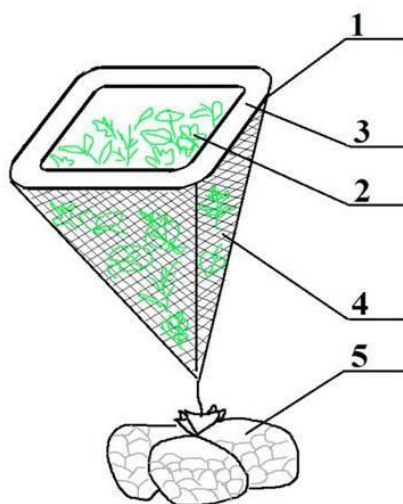


Рис. 3. Фитосадок. 1 – каркас, 2 - биологическая загрузка, 3 – рамка, 4 – сетчатая садковая часть, 5 - якорь.

В настоящее время ведется разработка устойчивых плавающих платформ для размещения фитомодулей, которые могут нести на себе как надводные укореняющиеся растения, так и погруженные водные растения, полностью находящиеся в толще воды. Платформы могут соединяться между собой, образуя барьер на пути движения воды в отстойнике. Количество платформ, их конфигурация и размещение подбирается в соответствии с параметрами существующего отстойника.

В результате исследований по очистке территорий, загрязненных нефтью и НП, выявлено, что бактерии проявляют устойчивость к загрязнению почвы легкими углеводородами при их содержании до 10%. Это относится в целом как к сапротрофным бактериям, особенно к их пигментированным формам, так и к специализированной группе углеводородокисляющих бактерий. В отношении микромицетов было установлено, что загрязнение почв НП в большей степени оказывает влияние на видовой состав и структуру комплексов микроскопических грибов, чем на их численность. Отмечено снижение видового разнообразия и изменение их видовой структуры. Определено, что максимальное значение содержания углеводородов в почве, при котором возможно самоочищение территории за один вегетационный период в условиях Кольского Севера составляет 15 г/кг для светлых НП и 5 г/кг для темных НП. Нами выделены штаммы бактерий и микроскопических грибов из аборигенных микроорганизмов, обладающие высокой нефтеструктурной активностью [7,9].

В результате многолетних полевых исследований подтверждена эффективность биологических методов очистки и восстановления нефтезагрязненных территорий в Кольской Субарктике. Приемы биостимуляции и сорбционно-биологической очистки сокращают время очистки загрязненной почвы в 2-2,5 раза и снижают степень фитотоксичности почвы. Способность биогеосорбентов на основе анальцимсодержащих и глауконитсодержащих пород, термоактивированного вермикулита и гранулированного активированного угля сохранять на своей поверхности жизнеспособные бактериальные клетки в течение длительного времени, стимулировать ферментативную активность почв и рост тест-растений в загрязненной почве при температуре +7°C позволяет рекомендовать их применение для очистки и восстановления нефтезагрязненных почв в северных регионах.

В ходе проведения исследований подобран ряд растений, устойчивых к загрязнению почвы НП: двукисточник тростниковидный, волоснец песчаный, овсяница луговая, рожь двулетняя и другие. Данные виды растений можно рекомендовать для проведения этапа фиторемедиации при очистке почв.

Как известно, минерально-сырьевые ресурсы Мурманской области представлены крупными запасами апатит-нефелинового и медно-никелевого сырья. С 2004 г. сотрудниками лаборатории проводятся работы по изучению функционирования микроорганизмов в целостной системе переработки апатит-нефелиновых и медно-никелевых руд на обогатительных фабриках ОАО "Апатит" и Кольской ГМК [1,5]. В результате проведенных исследований было установлено, что флотационный процесс как сульфидных, так и несulfидных руд способствует развитию бактерий. Максимальной численности бактерии достигают в пенном продукте за счет благоприятного температурного режима и наличия питательных веществ, поступающих в процесс с флотореагентами. Доминирующие в оборотной воде и в продуктах обогащения руд на разных стадиях технологического процесса грамотрицательные неспорообразующие бактерии, принадлежащие к роду *Pseudomonas*, оказывают негативное влияние на показатели технологического процесса. Выявлено возрастание времени флотации медно-никелевой руды и ухудшение флотируемости кальцийсодержащих минералов и апатита из апатит-нефелиновой руды. Это объясняется взаимодействием бактерий с активными центрами минералов и интенсивной флокуляцией при флотации, ведущей к нарушению селективности процесса. Разработан способ по снижению негативного влияния бактерий с использованием гипохлорита натрия, как эффективного бактерицидного соединения, эффективно ингибирующего развитие бактерий в оборотных водах обогатительных фабрик. Он практически полностью стерилизует бактериальную суспензию в течение 5 мин при концентрации 2-5 мг/л, что позволяет сократить расходы собирателей при флотации апатит-нефелиновой руды.

Таким образом, исследования сотрудников лаборатории направлены на комплексное изучение биотехнологического потенциала всех основных групп микроорганизмов природных сред, подверженных антропогенному воздействию, в суровых климатических условиях Мурманской области. Использование новых методов изучения почвенной микробиоты на физиологическом и генетическом уровнях будет способствовать открытию новых видов с уникальными чертами, которые можно использовать в процессе биоремедиации загрязненных территорий и минимизации негативного воздействия на окружающую среду.

**Благодарности.** Работа выполнена в рамках темы НИР 9-22-2716 «Микробиота природных сред Арктической зоны и разработка способов охраны и реабилитации окружающей среды с использованием биотехнологического потенциала микроорганизмов»

### Библиографический список

1. Воронина Н.В., Евдокимова Г.А., Гершенкоп А.Ш. Развитие и функционирование микроорганизмов в цикле обогащения апатит-нефелиновых руд с использованием оборотного водоснабжения // Горный журнал. 2007. №12. С. 61-65.
2. Евдокимова Г.А., Мозгова Н.П. Микроорганизмы тундровых и лесных подзолов Кольского Севера. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2001. 184 с.
3. Евдокимова Г.А., Иванова Л.А., Мязин В.А. Устройство для биологической очистки сточных карьерных вод // Патент на изобретение RU 2560631. Заявка № 2014122204/13 от 30.05.2014 г. Опубликовано 20.08.2015 г. Бюл. №23
4. Иванова Л.А., Корнейкова М.В., Мязин В.А., Фокина Н.В., Редькина В.В., Евдокимова Г.А. Модуль фитосистемы для биологической очистки промышленных сточных вод от минеральных загрязнителей // Патент на изобретение № 2773122. Заявка № 2021110150 от 10.06.2020 г. Опубликовано 30.05.2022 г.
5. Фокина Н.В., Янишевская Е.С., Евдокимова Г.А. Сезонная динамика численности и трофическое разнообразие микроорганизмов в процессе флотации сульфидных медно-никелевых руд на обогатительной фабрике Кольской ГМК // Проблемы недропользования. 2016. 2. С.118-122.
6. Ivanova L.A., Myazin V.A., Korneykova M.V., Fokina N.V., Redkina V.V., Evdokimova G.A. Development and optimization of biological treatment of quarry waters from mineral nitrogen in the Arctic. Theoretical and Applied Ecology. 2019. 1. p. 82-87.
7. Korneykova M.V., Myazin V.A., Fokina N.V., Chaporgina A.A. Bioremediation of soil of the Kola peninsula (Murmansk region) contaminated with diesel fuel // Geography, Environment, Sustainability. 2021. 14 (1).
8. Koyama A., Wallenstein M., Moore J. Soil bacterial community composition altered by increased nutrient availability in Arctic tundra soils // Environmental Science, Medicine Frontiers in Microbiology. 2014. 5. p. 1-16.
9. Myazin, V.A., Korneykova, M.V., Chaporgina, A.A., Fokina, N.V., Vasilyeva, G.K. The effectiveness of biostimulation, bioaugmentation and sorption-biological treatment of soil contaminated with petroleum products in the Russian Subarctic // Microorganisms. 2021. 9. 1722.