Дата поступления рукописи в редакцию: 13.01.2026 г. DOI: 10.24412/3033-6724-2026-1-106-108
Дата принятия рукописи в печать: 25.03.2026 г.

МУСТАФИНА Диана Дамировна,
магистр,
Уфимский государственный нефтяной технический университет,
Уфа, Россия,
e-mail: diano4kadin1978@mail.ru

БЕЛАН Лариса Николаевна,
доктор геолого-минералогических наук, профессор,
Уфимский государственный нефтяной технический университет,
Уфа, Россия,
e-mail: diano4kadin1978@mail.ru

РЕКУЛЬТИВАЦИИ МЕТОДОМ САМОВОССТАНОВЛЕНИЯ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ: СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Аннотация. *В данной статье рассматриваются современные методы восстановления нефтезагрязненных почв в регионах с суровым климатом, таких как российская Арктика и Сибирь. Эти регионы характеризуются экстремальными условиями температуры, низкой активностью микроорганизмов и сложной почвенной структурой, что создает уникальные вызовы для экологической реставрации. Особое внимание уделяется актуальности разработки экологически устойчивых стратегий, направленных на минимизацию воздействия на окружающую среду и повышение эффективности восстановительных процессов.*

В числе приоритетных подходов выделено использование методов самовосстановления с участием природных микроорганизмов и растений — биоремедиации, которые позволяют снизить затраты и снизить риск дополнительных экологических последствий. Анализируются физиологические ограничения этих процессов, обусловленные низкими температурами, низкой доступностью воды и питательных веществ, а также экологические факторы, такие как высокий уровень загрязнения и низкая биологическая многообразность почв. Особое внимание уделяется роли фиторемедиационных технологий — методов использования растений для биоочистки и стабилизации загрязненных территорий. Рассматриваются возможности применения различных видов растений, адаптированных к климату, а также способов их стимуляции для повышения эффективности биодеградации нефтепродуктов. В статье также обсуждаются биологические индикаторы, которые позволяют мониторить прогресс восстановления, отслеживая изменения в микробиологических сообществах, химическом составе почвы и состоянии растительности.

В рамках исследования представлены рекомендации по оптимизации методов стимуляции биодеградации нефтепродуктов с учетом региональных климатических условий и специфики почв. Это включает выбор подходящих микроорганизмов, методов их активации и введения, а также разработку технологий, повышающих выживаемость и активность микроорганизмов в условиях низких температур и ограниченных ресурсов.

Ключевые слова: *рекультивация, самовосстановление, почва, нефть, аэрофотосъёмка, биоремедиация, нарушенные земли, климат.*

MUSTAFINA Diana Damirovna,
Master's Degree,
Ufa State Petroleum Technological University,
Ufa, Russia

BELAN Larisa Nikolaevna,
Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor,
Ufa State Petroleum Technological University,
Ufa, Russia

SELF-RESTORATION OF OIL-CONTAMINATED LANDS: MODERN APPROACHES AND PROSPECTS

Annotation. *This article examines modern methods for restoring oil-contaminated soils in harsh climates such as the Russian Arctic and Siberia. These regions are characterized by extreme temperatures, low microbial activity, and complex soil structures, creating unique challenges for ecological restoration. Particular attention is given to the importance of developing environmentally sustainable strategies aimed at minimizing environmental impacts and increasing the effectiveness of restoration processes.*

Priority approaches include the use of self-healing methods involving natural microorganisms and plants—bioremediation—which reduce costs and mitigate the risk of additional environmental impacts. The physiological limitations of these processes, caused by low temperatures, low water and nutrient availability, as well as environmental factors such as high pollution levels and low soil biodiversity, are analyzed. Particular attention is given to the role of phytoremediation technologies—methods using plants for the bioremediation and stabilization of contaminated areas. The article examines the potential use of various climate-adapted plant species and methods for stimulating them to enhance the biodegradation efficiency of petroleum products. The article also discusses biological indicators that allow for monitoring restoration progress by tracking changes in microbial communities, soil chemistry, and vegetation conditions.

The study provides recommendations for optimizing methods for stimulating petroleum product biodegradation, taking into account regional climatic conditions and soil characteristics. This includes the selection of suitable microorganisms, methods for their activation and introduction, and the development of technologies that enhance microbial survival and activity in low-temperature conditions and resource-limited environments.

Key words: *reclamation, self-healing, soil, oil, aerial photography, bioremediation, disturbed lands, climate.*

В нефтегазодобывающих регионах, особенно в Сибири и Арктике, загрязнение почв нефтью представляет собой серьёзную проблему, требующую комплексного подхода к восстановлению экологического баланса. Нефтяное загрязнение ухудшает плодородие, уменьшает биоразнообразие и ослабляет устойчивость экосистем, что влечёт за собой долговременные последствия для окружающей среды [1]. Методы восстановления загрязнённых территорий должны быть экологичными, экономически целесообразными и оказывать минимальное воздействие на природу, особенно в удалённых районах с ограниченными техническими возможностями [2].

Один из многообещающих путей – естественная ремедиация (самовосстановление), основанная на использовании природных агентов, таких как микроорганизмы и растения, для расщепления углеводородных загрязнителей. Этот подход способствует восстановлению почвенных функций и экологических систем посредством естественных биологических процессов, что снижает финансовые затраты и уменьшает потребность в тяжёлой технике [3]. Метод важен в удалённых нефтедобывающих районах, где инфраструктура для активных мер развита слабо. Однако, в холодном климате скорость самовосстановления падает, поскольку низкие температуры замедляют работу биологических сообществ, разлагающих нефть. К тому же, расщепление нефти может сопровождаться образованием опасных веществ, способных ухудшить качество почв и затруднить их полное восстановление.

Температура сильно влияет на скорость и качество биологического расщепления углеводородов в загрязнённых зонах. Низкие температуры, характерные для северных регионов России, замедляют метаболизм микроорганизмов, что снижает темп распада нефтяных продуктов и замедляет восстановление почвы. Оптимальная температура для активности бактерий – от 20 до 30 °C. Важную роль играет влажность почвы, поддерживающая метаболизм и деятельность микроорганизмов [4]. Для ускорения естественной ремедиации в холодных условиях применяются разные стратегии. Одна из них – внесение микроорганизмов, адаптированных к низким температурам и способных активно разлагать нефть. Этот подход, известный как биоаугментация, помогает преодолеть естественные ограничения скорости расщепления, связанные с климатом. Другое решение – биостимуляция, при которой в почву добавляются питательные вещества, такие как азот и фосфор, для стимулирования активности местных микроорганизмов и ускорения метаболизма углеводородов [5].

Эффективность естественной ремедиации можно поднять за счёт инженерных решений, таких как создание почвенных укрытий или систем обогрева, для поддержания оптимальной температуры и влажности почвы. Эти методы создают благоприятные условия для микроорганизмов, поддерживая их активность даже в суровых условиях. Важен мониторинг процессов разложения для оценки применяемых методов и внесения изменений в стратегию ремедиации.

Нужно учитывать риски, связанные с естественной ремедиацией. Важно оценивать возможность образования токсичных побочных продуктов распада нефти и их воздействие на окружающую среду [6]. Неконтролируемое или неполное расщепление углеводородов может привести к накоплению токсичных веществ в почве и грунтовых водах, создавая новые экологические проблемы.

Важным моментом применения естественной ремедиации остаётся предварительное исследование загрязнённого участка. Необходимо

определить тип и концентрацию загрязнителей, а также физико-химические свойства почвы. Это позволяет выбрать подходящие методы ремедиации и оценить возможную эффективность процесса [7]. Важно учитывать гидрогеологические условия участка, поскольку миграция загрязнённых веществ в грунтовые воды может представлять угрозу. При определении стратегии естественной ремедиации стоит учитывать экономические аспекты. Биоаугментация может потребовать затрат на культивирование микроорганизмов и их внесение в почву. Биостимуляция может быть более экономичным вариантом, но требует подбора питательных веществ и контроля их концентрации в почве. Инженерные решения, такие как почвенные укрытия и системы обогрева, тоже могут потребовать инвестиций.

Помимо традиционных методов, активно изучаются новые подходы к естественной ремедиации. Один из них – применение нанотехнологий, в частности, использование наночастиц для повышения активности микроорганизмов и ускорения расщепления углеводородов. Другое направление – разработка генетически модифицированных микроорганизмов, устойчивых к экстремальным условиям и способных расщеплять широкий спектр загрязнителей.

В заключение, естественная ремедиация является перспективным подходом к восстановлению загрязнённых нефтью почв в районах интенсивной добычи, особенно в удалённых регионах. Применение этого метода требует комплексного подхода, учитывающего климатические условия, характеристики загрязнения и потенциальные экологические риски. Успешное сочетание биоаугментации, биостимуляции и инженерных решений, вместе с мониторингом, может обеспечить восстановление загрязнённых территорий, помогая сохранить природные экосистемы в регионах нефтедобычи.

Список литературы:

[1] Аветов Н. А. Загрязнение нефтью почв таежной зоны Западной Сибири / Н. А. Аветов, Е. А. Шишконакова // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. – 2011. – № 68. – С. 45-55.

[2] Васильева Ж. В. Рекультивация нефтезагрязненных почв с использованием органических отходов в условиях Кольского Севера / Ж. В. Васильева, Т. Д. Горбовская, А. В. Павлов // Вестник МГТУ. Труды Мурманского государственного технического университета. – 2019. – Т. 22, № 1. – С. 72-82.

[3] Денежкина А. А. Теоретико-методическое обоснование выбора способа биоремедиации нефтезагрязненных почв / А. А. Денежкина // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. – 2022. – № 6-2. – С. 9-13.

[4] Киреева Н. А. Влияние биопрепарата Азолен на комплекс микромицетов нефтезагрязненной серой лесной почвы / Н. А. Киреева, Г. Ф. Рафикова, А. С. Григориади [и др. // Микология и фитопатология. – 2009. – Т. 43, № 2. – С. 142.

[5] Лебедева М. А. Перспективы использования консорциумов микроорганизмов и высших растений в восстановлении нефтезагрязненных земель / М. А. Лебедева, И. Л. Бухарина, А. А. Исупова, В. И. Лямзин// Лесной вестник. Forestry Bulletin. – 2022. – Т. 26, № 6. – С. 14-23.

[6] Леднев А. В. Влияние нефтяного загрязнения на микробное сообщество торфяных почв среднего Предуралья / А. В. Леднев, И. А. Скворцова // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2017. – № 1(56). – С. 47-53.

[7] Марютина Т. А. Особенности выбора метода определения нефтепродуктов в почвах в зависимости от экологических задач / Т. А. Марютина, Ю. Н. Романова, Н. С. Мусина // Аналитика. – 2025. – Т. 15, № 4. – С. 292-301.

References:

[1] Avetov N. A. Oil pollution of soils in the taiga zone of Western Siberia / N. A. Avetov, E. A. Shishkonakova // Bulletin of the V.V. Dokuchaev Soil Science Institute. - 2011. - No. 68. - Pp. 45-55.

[2] Vasilyeva Z. V. Reclamation of oil-contaminated soils using organic waste in the Kola North / Z. V. Vasilyeva, T. D. Gorbovskaya, A. V. Pavlov // Bulletin of Moscow State Technical University. Transactions of Murmansk State Technical University. - 2019. - Vol. 22, No. 1. - Pp. 72-82.

[3] Denezhkina A. A. Theoretical and methodological substantiation of the choice of the method of bioremediation of oil-contaminated soils / A. A. Denezhkina // Modern science: current problems of theory and practice. Series: Natural and technical sciences. - 2022. - No. 6-2. - P. 9-13.

[4] Kireeva N. A. Influence of the biopreparation Azolen on the micromycete complex of oil-contaminated gray forest soil / N. A. Kireeva, G. F. Rafikova, A. S. Grigoriadi [et al. // Mycology and phytopathology. – 2009. – Vol. 43, No. 2. – P. 142.

[5] Lebedeva M. A. Prospects for the Use of Consortia of Microorganisms and Higher Plants in the Restoration of Oil-Contaminated Lands / M. A. Lebedeva, I. L. Bukharina, A. A. Isupova, V. I. Lyamzin // Forestry Bulletin. – 2022. – Vol. 26, No. 6. – P. 14-23.

[6] Lednev A. V. The Impact of Oil Pollution on the Microbial Community of Peat Soils in the Middle Cis-Urals / A. V. Lednev, I. A. Skvortsova // Agrarian Science of the Euro-North-East. – 2017. – No. 1(56). – P. 47-53.

[7] Maryutina T. A. Features of the choice of the method for determining oil products in soils depending on environmental objectives / T. A. Maryutina, Yu. N. Romanova, N. S. Musina // Analytics. - 2025. - Vol. 15, No. 4. - P. 292-301.