

Т. О. Перемитина^{1,2✉}, И. Г. Яценко¹

Спутниковая оценка восстановления экосистемы после аварийного разлива нефтепродуктов в Арктической зоне

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт химии нефти
Сибирского отделения Российской академии наук (ИХН СО РАН),

г. Томск, Российская Федерация

²Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР),

г. Томск, Российская Федерация

e-mail: peremitinat@mail.ru

Аннотация. Проведен анализ восстановления экосистемы в Арктической зоне после чрезвычайной ситуации, связанной с аварийным разливом нефтепродуктов. Исследования проведены в районе посёлка Тухард Таймырского Долгано-Ненецкого муниципального района Красноярского края. Цель работы заключалась в анализе пространственно-временной динамики состояния растительного покрова по значениям вегетационного индекса NDVI. Для анализа были выделены три участка мониторинга, расположенные выше по течению, в зоне аварии и ниже по течению относительно направления миграции загрязнения. В качестве исходных данных использованы спутниковые материалы MODIS за период 2018–2024 гг., обработанные в системе ВЕГА-Science. Сравнительный анализ временных рядов NDVI показал, что на фоновом участке значения индекса оставались наиболее высокими, тогда как в зоне аварийного воздействия и ниже по течению наблюдалось его снижение, особенно в 2020 г. В 2024 г. отмечена частичная положительная динамика, что может свидетельствовать о постепенном восстановлении растительного покрова, однако значения индекса в зоне негативного воздействия по-прежнему ниже фоновых.

Ключевые слова: Арктическая зона, разлив нефтепродуктов, NDVI, ВЕГА-Science, дистанционное зондирование

T. O. Peremitina^{1,2✉}, I. G. Yashchenko¹

Satellite assessment of ecosystem recovery after an emergency oil spill in the Arctic zone

¹Institute of Petroleum Chemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
Tomsk, Russian Federation

²Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Tomsk, Russian Federation
e-mail: peremitinat@mail.ru

Abstract. An analysis of ecosystem recovery in the Arctic Zone after an emergency caused by an accidental oil product spill was conducted. The study was carried out in the area of the settlement of Tukhard, in the Taimyr Dolgano-Nenets Municipal District of Krasnoyarsk Krai. The aim of the work was to analyze the spatiotemporal dynamics of vegetation cover condition using NDVI values. Three monitoring sites were selected for the analysis: upstream, in the accident zone, and downstream relative to the direction of contaminant migration. Satellite MODIS data for the period 2018–2024, processed in the VEGA-Science system, were used as the source data. A comparative analysis of NDVI time series showed that the background site had the highest index values, whereas a decrease was observed in the accident-affected zone and downstream, especially in 2020. By 2024, partial positive

dynamics were noted, which may indicate gradual recovery of the vegetation cover; however, NDVI values in the affected zone remained below background levels.

Keywords: Arctic Zone, oil spill, NDVI, VEGA-Science, remote sensing

Введение

Аварийные разливы нефтепродуктов в Арктической зоне представляют собой одну из наиболее опасных форм техногенного воздействия на природную среду. В условиях Крайнего Севера даже сравнительно локальные инциденты способны вызывать длительные нарушения состояния водных и наземных экосистем, поскольку процессы самоочищения и естественного восстановления здесь протекают медленно.

Как отмечено в работе [1], экосистемы арктических территорий намного дольше восстанавливаются после негативных воздействий, т.к. все восстановительные процессы протекают медленнее. Для мониторинговых наблюдений длительных восстановительных процессов экосистем арктических территорий максимально подходят методы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). ДЗЗ помогают регулярно получать данные о состоянии растительного покрова, одного из индикаторов состояния экосистемы. Значения нормализованного вегетационного индекса NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) позволяет количественно оценить состояние растительного покрова. Индекс принимает значения от -1 до 1, чем ближе значение индекса к 1, тем лучше отражательная способность растительного покрова, а значит и его состояние.

Целью настоящей работы является исследование пространственно-временной динамики состояния арктической экосистемы в зоне аварийного разлива нефтепродуктов на основе спутниковых данных и индекса NDVI.

Объект исследования

Объектом исследования является территория аварийного разлива нефтепродуктов, произошедшего 12 июля 2020 г. в районе посёлка Тухард Таймырского Долгано-Ненецкого муниципального района Красноярского края. Загрязнение распространилось по ручью в сторону двух озёр, расположенных в пределах слабодренированного северного ландшафта [2].

Для оценки восстановления природной среды в системе ВЕГА-Science [3] были выделены три участка мониторинга, расположенные последовательно вдоль направления распространения загрязнения: фоновая зона выше по течению, пункт аварии и участок ниже по течению, вблизи зоны озёр (рис. 1). Такое размещение позволяет сопоставить исходное состояние территории, при воздействии нефтеразлива и последствия изменений в зоне переноса загрязнения.



Рис. 1. Исследуемая территория

Участки расположены линейно по гидрологическому потоку: участок 1 – контрольная зона выше эпицентра, участок 2 – непосредственный источник аварии, участок 3 – зона миграции загрязнителя вниз по течению. Интервал между ними составляет около 0,8-1 км, что обеспечивает градиентное отслеживание воздействия.

Методы и материалы

Для оценки состояния территории использованы спутниковые данные MODIS с пространственным разрешением 250 м с недельной временной дискретизацией.

Анализ основан на изучении динамики значений вегетационного индекса NDVI, рассчитанного для трёх выделенных участков за период 2018–2024 гг. В исследование были включены периоды вегетации (с июня по сентябрь) с 2018 г., предшествующего разливу нефтепродуктов, 2020 г. - период аварии и последующие 2022-2024 гг. - периоды восстановления растительного покрова. Все расчёты выполнялись в системе BEGA-Science. Полученные результаты позволили сопоставить значения индекса NDVI на трёх исследуемых участках (рис.1).

Такой подход дал возможность проследить изменение состояния растительного покрова в зоне разлива, оценить степень его нарушения и охарактеризовать особенности восстановления территории после аварии.

Результаты и обсуждение

Для оценки пространственно-временной динамики состояния растительного покрова были рассчитаны средние значения NDVI за 25–37-ю недели года,

соответствующие периоду с 17 июня по 15 сентября, для трёх указанных участков с 2018 по 2024 гг. На рис. 2 представлена динамика изменения индекса NDVI за указанный период.

Выбор именно этого временного интервала летнего сезона обусловлен тем, что он охватывает основной вегетационный период в арктических условиях и позволяет сопоставлять значения NDVI в фазу наиболее активного развития растительного покрова. Использование средних значений за 7 дней в системе ВЕГА-Science обеспечивает сглаживание кратковременных колебаний, связанных с облачностью и атмосферными влияниями [3]. В результате временные ряды становятся более устойчивыми и удобными для межгодового сравнения.

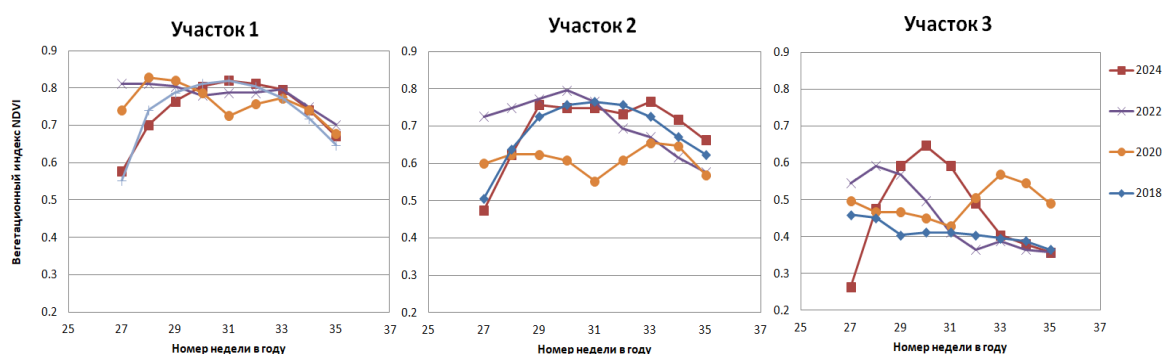


Рис. 2. Динамика изменения значений индекса NDVI в 2018 - 2024 гг.

Сравнение графиков (рис. 2) показывает выраженную пространственную неоднородность состояния растительного покрова на исследуемой территории. Наибольшие значения NDVI устойчиво фиксируются на участке 1, который является фоновой зоной с минимальной степенью техногенного воздействия. На участке 2, соответствующий месту аварии, наблюдается снижение индекса в 2020 г. по сравнению с 2018, 2022 и 2024 гг., что отражает влияние аварийного разлива на состояние растительности. Наиболее низкие значения NDVI характерны для участка 3, расположенного ниже по течению, что указывает на более сильную деградацию растительного покрова в зоне переноса загрязнения по гидрологическому пути.

Сопоставление временной динамики также подтверждает различия между исследуемыми участками. На участке 1 значения NDVI сохраняются на высоком уровне во все годы и демонстрируют преимущественно сезонный характер изменений, связанный с естественным развитием растительности в летний период.

Заключение

Проведенный анализ динамики вегетационного индекса NDVI помог получить два важных вывода: во-первых, насколько нарушен растительный покров, а во-вторых, как именно он восстанавливается после разлива нефтепродуктов. Сравнительный анализ временных рядов NDVI показал, что на фоновом участке значения индекса оставались наиболее высокими, тогда как в зоне аварийного

воздействия и ниже по течению наблюдалось его снижение, особенно в 2020 г. В 2024 г. отмечена положительная динамика, что может свидетельствовать о постепенном восстановлении растительного покрова, однако значения индекса в зоне негативного воздействия по-прежнему ниже фоновых.

Полученные результаты показывают, что сервис «ВЕГА» позволяет получить дистанционную оценку экосистем труднодоступных арктических территорий. ДЗЗ позволяют выявлять зоны техногенного воздействия, отслеживать динамику растительного покрова, а также оценивать результативность рекультивационных мероприятий.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИХН СО РАН, финансируемого Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (НИОКТР 126012716057-6).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гурлев И. В., Макоско А. А., Малыгин И. Г. Экологические проблемы Арктической зоны России на примере Ямало-Ненецкого автономного округа // Арктика: экология и экономика. – 2024. – Т. 14, № 3(55). – С. 370-383.
2. Государственный доклад «О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2020 году» [Электронный ресурс]. URL: <https://mchs.gov.ru/dokumenty/5304> (дата обращения: 17.04.2026).
3. Лупян Е. А., Прошин А. А., Бурцев М. А., Толпин В. А. Система «ВЕГА-Science»: возможности работы с данными спутниковых наблюдений Земли для решения научных и прикладных задач // Земля и Вселенная. – 2025. – № 1-2(361–362). – С. 66-85.

© Т. О. Перемитина, И. Г. Яценко, 2026