

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДА ОБНАРУЖЕНИЯ НЕФТЯНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ В БЛИЖНЕМ ИК-ДИАПАЗОНЕ ДЛЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Н.В. Барышников
М.Б. Нгуен

baryshnikov@bmstu.ru
nguyenminhbach61097vt
@gmail.com
fed@bmstu.ru
belov@bmstu.ru

Ю.В. Федотов
М.Л. Белов

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Проведены результаты измерения спектров отражения незагрязненных и загрязненных нефтепродуктами водных объектов на земной поверхности в ближнем ИК-диапазоне. В качестве загрязнителей использованы различные типы нефтепродуктов (товарная нефть Московского и Рязанского НПЗ, керосин, дизельное топливо, газовый конденсат, различные марки бензина, моторных масел). Исследуемые образцы — лабораторные модели водных объектов (болота, лужи на земной поверхности). Полученные результаты показывают, что для обнаружения загрязнений нефтью и нефтепродуктами водных объектов на земной поверхности в ближнем ИК-диапазоне перспективно использовать спектры отражения в диапазоне значений 1,6...1,8 мкм. Применение аппаратуры с тремя широкими спектральными каналами шириной 50 нм и центральными длинами волн 1696, 1734 и 1775 нм позволяет с высокой надежностью обнаруживать загрязнения нефтью и моторными маслами водных объектов при низкой вероятности неправильного обнаружения загрязнений. Обнаружение загрязнений водных объектов более легкими нефтепродуктами (бензины, керосины, дизельное топливо) возможно, однако вероятность обнаружения загрязнений существенно ниже

Ключевые слова

*Ближний ИК-диапазон,
земная поверхность, обнару-
жение нефтяных загрязнений*

Поступила 03.06.2025
Принята 26.06.2025
© Автор(ы), 2026

Введение. В настоящее время важной экологической задачей является мониторинг загрязнений земной поверхности нефтью и нефтепродуктами [1–3]. Это связано с большим риском разливов нефти и нефтепродуктов при их транспортировке по трубопроводам, а также с риском разлива в районах добычи нефти, пунктах заправки топливом и перекачки нефтепродуктов. Существующие на трубопроводах автономные системы мониторинга утечек [4–6] обычно имеют предел чувствительности сотые доли процента от производительности нефтепровода (или более) и поэтому утечки малой интенсивности не регистрируют. В связи с этим актуальной является разработка технических средств дистанционного контроля утечек нефтепродуктов малой интенсивности.

Одним из наиболее перспективных для практического использования методов мониторинга загрязнений земной поверхности нефтью и нефтепродуктами (например, при оперативном контроле утечек нефтепроводов малой интенсивности) является оптический метод, основанный на обнаружении (в определенных спектральных интервалах) провалов в спектрах отражения природных образований, вызванных наличием на земной поверхности нефтепродуктов [7–10]. Этот метод является альтернативным лазерному флуоресцентному методу [11–13].

Наиболее перспективными для обнаружения нефтяных загрязнений в ближнем ИК-диапазоне являются спектральные диапазоны около длин волн 1,73 и 2,3 мкм. Примеры спектров отражения в ближнем ИК-диапазоне разных почв, загрязненных и незагрязненных нефтепродуктами, показаны на рис. 1. Стрелками обозначены характерные провалы (локальные уменьшения) в спектрах на длинах около 1,73 и 2,3 мкм, вызванные поглощением излучения углеводородами.

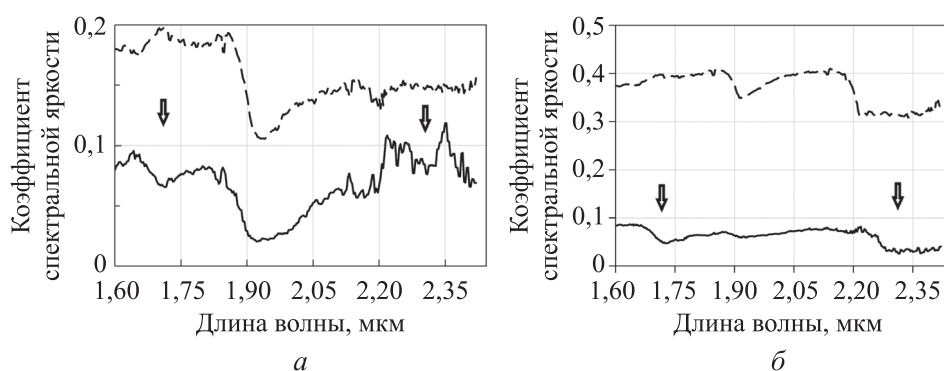


Рис. 1. Спектры отражения в ближнем ИК-диапазоне незагрязненной (штриховая линия) и загрязненной (сплошная линия) товарной нефтью Рязанского НПЗ почвы (а) и песка моторным маслом (б)

Оптический сенсор ближнего ИК-диапазона, установленный на беспилотный летательный аппарат, может осуществлять мониторинг наиболее подверженных загрязнению нефтепродуктами участков земной поверхности (вдоль нефтепроводов, около хранилищ топлива, пунктов заправки или перекачки топлива и т. п.).

Постановка задачи. Проведены экспериментальные измерения спектров отражения различных видов почв, загрязненных разными нефтепродуктами [7–10, 14–21]. Однако многие вопросы остаются незакрытыми, например, вопрос об эффективности метода обнаружения нефтяных загрязнений в ближнем ИК-диапазоне для водных объектов на земной поверхности. Наибольший интерес представляют водные объекты, характерные для трассы прохождения трубопроводов — болота, заболоченные участки местности, разливы воды (из-за дождей, разливов рек и т. п.), лужи.

Цель работы — экспериментально исследовать спектры загрязненных нефтепродуктами водных объектов и определить эффективность метода обнаружения нефтяных загрязнений в ближнем ИК-диапазоне для водных объектов на земной поверхности.

Материалы и методы. Регистрация спектров отражения разных водных объектов в ближнем ИК-диапазоне выполнена на лабораторной установке, структурная схема которой приведена в [22]. В лабораторной установке использован спектрометр высокого разрешения ближнего ИК-диапазона OPTOSKY АТП8000, который регистрирует сигнал в ближнем ИК-диапазоне 900...2500 нм с разрешением примерно 10 нм. Результаты измерений спектров отражения поступают на компьютер через интерфейс USB 2.0 или RS232. В качестве источника излучения (для освещения измеряемых образцов) применена галогеновая лампа *Zholix Instruments GLORIA-T150A*. При измерениях регистрировали коэффициент спектральной яркости: отношение яркости, регистрируемой в направлении, близком к вертикальному, к яркости, регистрируемой от эталонного отражателя (эталона диффузного отражения *Edmund Optics Spectralon*). Приемная оптическая система формировала поле зрения спектрометра в плоскости измеряемого образца диаметром порядка 5 мм.

Результаты измерений спектров коэффициента отражения водных объектов в ближнем ИК-диапазоне. В качестве образцов загрязнителей использованы различные нефтепродукты: товарная нефть Московского и Рязанского НПЗ; керосин; дизельное топливо; бензин АИ-92, АИ-95; моторные масла (вакуумное, полусинтетическое, ЛУКОЙЛ). В качестве

исследуемых образцов водных объектов (болота, лужи на земной поверхности и участки поверхности, залитые водой) взяты их лабораторные модели.

Для проведения измерений образцы почвы (~ 100 мл) помещали в пластиковые прямоугольные контейнеры объемом 250 мл размером $108 \times 82 \times 48$ мм. Для имитации болота почва бралась с прибрежного дна заболоченного паркового пруда, а вода (с зеленой водной растительностью на поверхности) — из болота. Слой воды над почвой для болота примерно 1,5...2 см. Для имитации лужи почва бралась на берегу паркового пруда, а вода — из паркового пруда без зеленой водной растительности на поверхности. Слой воды над почвой для лужи около 0,5...1 см. Для мелких луж вода едва покрывала поверхность почвы или песка.

Для загрязнения исследуемых образцов нефтепродуктами использован медицинский шприц. Нефтепродукты (10 мл) распределяли по всей поверхности образца так, что пленка нефтепродуктов покрывала почти всю площадь воды.

Регистрация спектров отражения показывает, что для обнаружения загрязнений нефтью и нефтепродуктами водных объектов наиболее перспективен диапазон около 1,73 мкм. Примеры спектров отражения водных объектов с нефтяными загрязнениями и без них показаны на рис. 2.

При загрязнении болот и луж нефтью и моторным маслом спектральные провалы около длины волны 1,73 мкм (вызваны поглощением излучения углеводородными соединениями) присутствуют в спектрах отражения (могут быть очень малыми). Однако при загрязнении болот и луж более легкими нефтепродуктами (бензином, керосином, дизельным топливом) спектральные провалы около длины волны 1,73 мкм в некоторых экспериментах могут отсутствовать в спектрах отражения.

Для количественной оценки эффективности метода обнаружения загрязнений нефтью и нефтепродуктами водных объектов на земной поверхности в ближнем ИК-диапазоне проведен анализ работы алгоритма обнаружения нефтяных загрязнений.

Результаты анализа спектров отражения. Для анализа использован спектральный диапазон 1600...1800 нм. Выбор диапазона обусловлен тем, что в нем присутствуют (около длины волны 1,73 мкм) наиболее выраженные изменения в спектрах отражения образцов, загрязненных нефтепродуктами. Этот диапазон находится в «окне прозрачности» земной атмосферы.

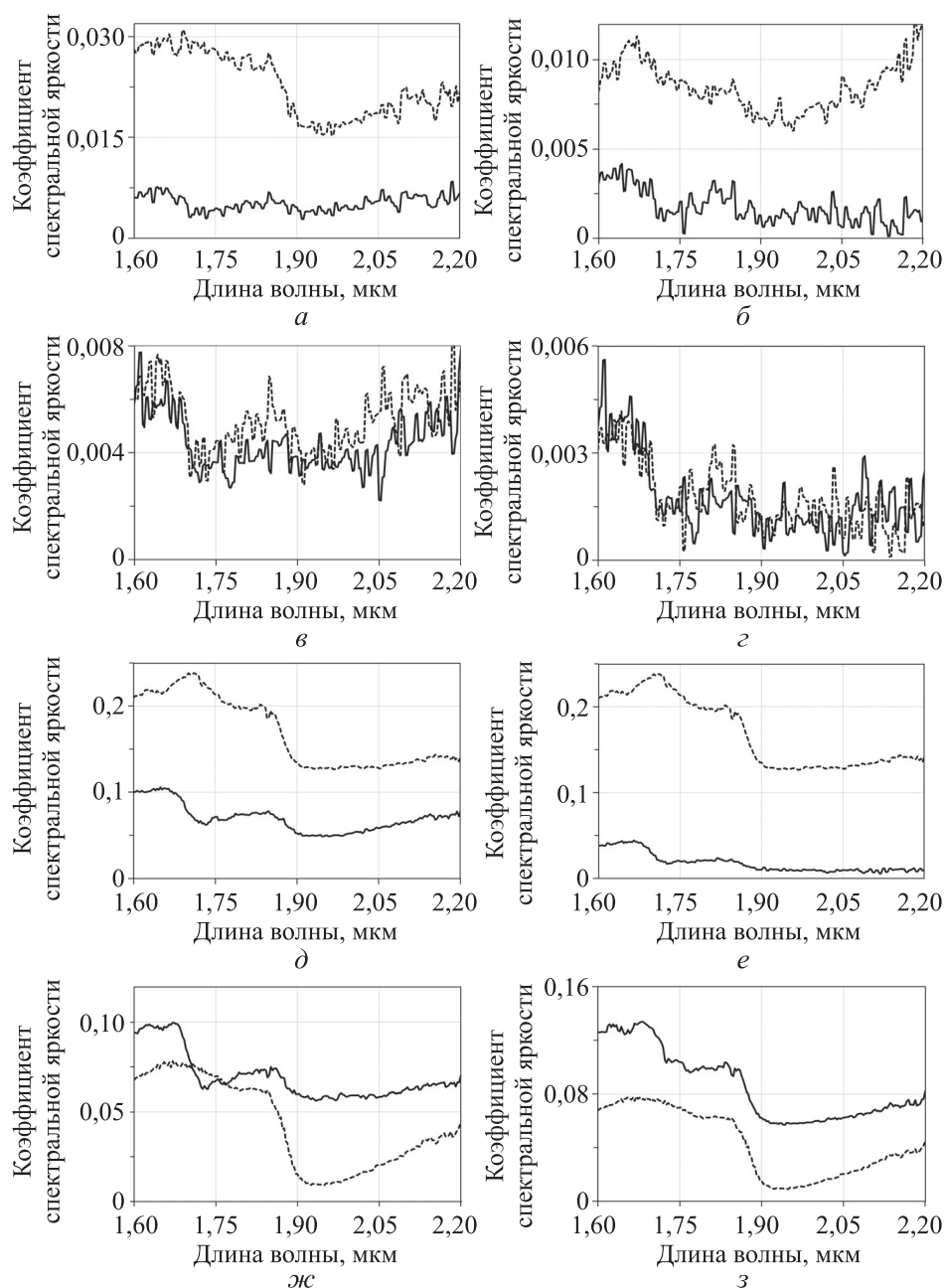


Рис. 2 (начало). Спектры отражения болота (а) и лужи с почвенным дном (б) при загрязнении товарной нефтью Московского НПЗ (а) и Рязанского НПЗ (б), болота (в) и лужи с почвенным дном (г) при загрязнении моторным маслом, мелких луж на песке при загрязнении полусинтетическим моторным маслом (д) и моторным маслом ЛУКОЙЛ (е), мелких луж на почве при загрязнении вакуумным моторным маслом (ж) и дизельным топливом (з):
 штриховая линия — незагрязненные нефтепродуктами образцы;
 сплошная — загрязненные различными нефтепродуктами образцы

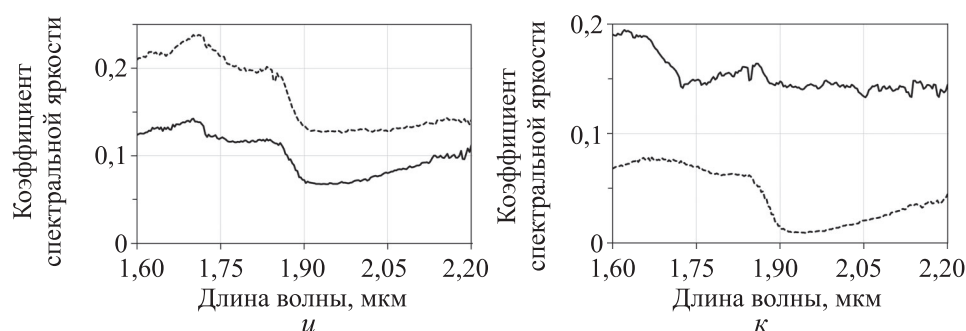


Рис. 2 (окончание). Спектры отражения мелких луж на песке (*и*) и почве (*к*) при загрязнении товарной нефтью Рязанского НПЗ:
штриховая линия — незагрязненные нефтепродуктами образцы;
сплошная — загрязненные различными нефтепродуктами образцы

Для мониторинга загрязнений земной поверхности нефтью и нефтепродуктами около длины волны 1,73 мкм обычно используется углеродный индекс HI , зависящий от коэффициентов отражения R_A, R_B, R_C для длин волн $\lambda_A, \lambda_B, \lambda_C$, выбранных около длины волны 1,73 мкм [14, 18, 23]:

$$HI = (\lambda_B - \lambda_A) \frac{R_C - R_A}{\lambda_C - \lambda_A} + R_A - R_B.$$

Для поверхности с загрязнением нефтью и нефтепродуктами $HI > 0$, для незагрязненной поверхности $HI = 0$.

Использование индекса HI подходит для гиперспектральной аппаратуры с узкими спектральными каналами (~ 10 нм и менее). Конкретные значения длин волн $\lambda_A, \lambda_B, \lambda_C$, полученных разными авторами, могут отличаться (незначительно) [14, 18, 23]: $\lambda_A = 1,705$ мкм, $\lambda_B = 1,729$ мкм, $\lambda_C = 1,741$; $\lambda_A = 1,699$ мкм, $\lambda_B = 1,730$ мкм, $\lambda_C = 1,749$; или $\lambda_A = 1,668$ мкм, $\lambda_B = 1,729$ мкм, $\lambda_C = 1,789$.

Здесь использованы расчеты углеродного индекса по приведенной формуле для аппаратуры с тремя широкими спектральными каналами шириной 50 нм и центральными длинами волн 1696, 1734 и 1775 нм.

Результаты расчетов процента спектров N1 для образцов, загрязненных нефтепродуктами, которые правильно определены как спектры загрязненных нефтепродуктами образцов, и процента спектров N2 незагрязненных нефтепродуктами для образцов, которые неправильно определены как загрязненные нефтепродуктами спектры образцов, приведены ниже:

Все виды моторных масел на песке и почве для болот, луж и мелких луж N1, %	> 99
Товарная нефть Московского и Рязанского НПЗ на песке и почве для болот, луж и мелких луж N1, %	> 99
Все виды бензина, керосина и дизельного топлива на песке и почве для болот, луж и мелких луж N1, %	70
Болота, лужи и мелкие лужи, незагрязненные нефтепродуктами N2, %	4

Приведенные результаты показывают, что для обнаружения загрязнений нефтью и нефтепродуктами водных объектов на земной поверхности в ближнем ИК-диапазоне перспективно использование оптической аппаратуры, работающей в спектральном диапазоне 1,6...1,8 мкм. Использование аппаратуры с тремя широкими спектральными каналами шириной 50 нм и центральными длинами волн 1696, 1734 и 1775 нм позволяет с большой надежностью обнаруживать загрязнения нефтью и моторными маслами водных объектов на земной поверхности при низкой вероятности неправильного обнаружения загрязнений. Обнаружение загрязнений водных объектов более легкими нефтепродуктами (бензины, керосины, дизельное топливо) тоже возможно, но вероятность обнаружения загрязнений существенно ниже.

Заключение. Выполнены экспериментальные исследования эффективности метода обнаружения нефтяных загрязнений в ближнем ИК-диапазоне для водных объектов на земной поверхности. Приведены результаты лабораторных исследований спектров отражения незагрязненных и загрязненных нефтепродуктами водных объектов в ближнем ИК-диапазоне. В качестве загрязнителей использованы товарная нефть Московского и Рязанского НПЗ, керосин, дизельное топливо, газовый конденсат, различные марки бензина и моторных масел. В качестве исследуемых образцов использованы лабораторные модели водных объектов (болота, лужи на земной поверхности). Полученные результаты показывают, что для обнаружения загрязнений нефтью и нефтепродуктами водных объектов на земной поверхности в ближнем ИК-диапазоне перспективно использование спектров отражения в диапазоне 1,6...1,8 мкм. Использование аппаратуры с тремя широкими спектральными каналами шириной 50 нм и центральными длинами волн 1696, 1734 и 1775 нм позволяет с большой надежностью обнаруживать загрязнения нефтью и моторными маслами водных объектов при низкой вероятности неправильного обнаружения загрязнений. Обнаружение загрязнений водных объектов более легкими нефтепродуктами

(бензины, керосины, дизельное топливо) возможно, но вероятность обнаружения загрязнений существенно ниже.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Ismailova N.M., Nadjafova S.I. Experience in assessing environmental risks of main oil pipelines in Azerbaijan through the prism of soil biogeoresistance to crude oil pollution. *Moscow Univ. Soil Sci. Bull.*, 2022, vol. 77, no. 3, pp. 196–202. DOI: <https://doi.org/10.3103/S014768742203005X>
- [2] Huettel M. Oil pollution of beaches. *Curr. Opin. Chem. Eng.*, 2022, vol. 36, art. 100803. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.coche.2022.100803>
- [3] Kuany P.B.G., Zhou X., Abdelhafeez I.A., et al. Oil contaminated soil, global environmental impact (overview). *IJCSI*, 2019, vol. 1, no. 5, pp. 124–129.
- [4] Adegboye M.A., Fung W.-K., Karnik A. Recent advances in pipeline monitoring and oil leakage detection technologies: principles and approaches. *Sensors*, 2019, vol. 19, no. 11, art. 2548. DOI: <https://doi.org/10.3390/s19112548>
- [5] Spandonidis C., Theodoropoulos P., Giannopoulos F.A. Combined semi-supervised deep learning method for oil leak detection in pipelines using IIoT at the edge. *Sensors*, 2022, vol. 22, no. 11, art. 4105. DOI: <https://doi.org/10.3390/s22114105>
- [6] Zhang J., Kane F. Leak detection and operations management in offshore pipelines. *11th International Pipeline Conference*, 2016, vol. 3, art. V003T04A012. DOI: <https://doi.org/10.1115/IPC2016-64488>
- [7] Keskin G., Teutsch C.D., Lenz A., et al. Concept of an advanced hyperspectral remote sensing system for pipeline monitoring. *Proc. SPIE*, 2015, vol. 9644. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.2194973>
- [8] Del’Papa R., Scafutto M., de Souza Filho C.R., et al. Hyperspectral remote sensing detection of petroleum hydrocarbons in mixtures with mineral substrates: implications for onshore exploration and monitoring. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*, 2017, no. 128, pp. 146–157. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.03.009>
- [9] Pelta R., Ben-Dor E. An exploratory study on the effect of petroleum hydrocarbon on soils using hyperspectral longwave infrared imagery. *Remote Sens.*, 2019, vol. 11, no. 5, art. 569. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs11050569>
- [10] Achard V., Foucher P.Y., Dubucq D. Hydrocarbon pollution detection and mapping based on the combination of various hyperspectral imaging processing tools. *Remote Sens.*, 2021, vol. 13, no. 5, art. 1020. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs13051020>
- [11] Hussein A.E., Marzouk A. Characterization of petroleum crude oils using laser induced fluorescence. *J. Pet. Environ. Biotechnol.*, 2015, vol. 6, no. 5, art. 240. DOI: <https://doi.org/10.4172/2157-7463.1000240>
- [12] Pashayev A., Tagiyev B., Allahverdiyev K., et al. LIDAR for remote sensing of contaminations on water and earth surfaces taking place during oil-gas production. *Proc. SPIE*, 2015, vol. 9810. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.2225219>

- [13] Fedotov Yu.V., Belov M.L., Gorodnichev V.A. Remote laser fluorescence method for oil leak detection at an excitation wavelength of 266 nm. *J. Opt. Technol.*, 2022, vol. 89, no. 5, pp. 286–290. DOI: <https://doi.org/10.1364/JOT.89.000286>
- [14] Andreoli G., Bulgarelli B., Hosgood B., et al. Hyperspectral analysis of oil and oil-impacted soils for remote sensing purposes. *Scientific and Technical Research Series*. EUR 22739 EN — DG Joint Research Centre. Luxembourg, European Communities, 2007. 36 p.
- [15] Horig B., Kuhn F. HyMap hyperspectral remote sensing to detect hydrocarbons. *Int. J. Remote Sens.*, 2001, vol. 22, no. 8, pp. 1413–1422. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431160120909>
- [16] Kühn F., Oppermann K., Hörig B. Hydrocarbon Index — an algorithm for hyperspectral detection of hydrocarbons. *Int. J. Remote Sens.*, 2004, vol. 25, no. 12, pp. 2467–2473. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431160310001642287>
- [17] Allen C.S., Krekeler M.P.S. Reflectance spectra of crude oils and refined petroleum products on a variety of common substrates. *Proc. SPIE*, 2010, vol. 7687. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.852200>
- [18] Allen C.S., Satterwhite M.B. Reflectance spectra of three liquid hydrocarbons on a common sand type. *Proc. SPIE*, 2006, vol. 6233. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.665586>
- [19] Tian Q. Study on oil-gas reservoir detecting methods using hyperspectral remote sensing. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, 2012, vol. XXXIX-B7, pp. 157–162. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XXXIX-B7-157-2012>
- [20] Minh N.B., Fedotov Yu.V., Baryshnikov N.V., et al. Experimental studies of a method for detecting oil pollution on the Earth's surface in the near-infrared range. *Proc. SPIE*, 2024, vol. 13217. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.3035931>
- [21] Minh B.N., Fedotov Yu.V., Baryshnikov N.V., et al. Influence of soil type on the detection of oil spills in the near infrared range. *AIP Conf. Proc.*, 2025, vol. 3268, art. 030016. DOI: <https://doi.org/10.1063/5.0257244>
- [22] Нгуен М.Б., Федотов Ю.В., Барышников Н.В. и др. Исследование влияния числа спектральных каналов на эффективность метода обнаружения нефтяных загрязнений в ближнем ИК-диапазоне. *Контент*, 2025, т. 24, № 1, с. 81–91. EDN: SSSOUM
- [23] Brum J., Schlegel C., Chappell C., et al. Reflective spectra of gasoline, diesel, and jet fuel A on sand substrates under ambient and cold conditions: implications for detection using hyperspectral remote sensing and development of age estimation models. *Environ. Earth Sci.*, 2020, vol. 79, no. 19, art. 463. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12665-020-09165-2>

Барышников Николай Васильевич — д-р техн. наук, заведующий кафедрой «Лазерные и оптико-электронные системы» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1).

Нгуен Минь Бач — аспирант кафедры «Лазерные и оптико-электронные системы» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1).

Федотов Юрий Викторович — канд. техн. наук, доцент кафедры «Лазерные и оптико-электронные системы» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1).

Белов Михаил Леонидович — д-р техн. наук, профессор кафедры «Лазерные и оптико-электронные системы» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Барышников Н.В., Нгуен М.Б., Федотов Ю.В. и др. Экспериментальные исследования эффективности метода обнаружения нефтяных загрязнений в ближнем ИК-диапазоне для водных объектов на земной поверхности. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение*, 2026, № 1 (154), с. 4–16.

EDN: HWGOIN

**EXPERIMENTAL STUDIES ON THE EFFECTIVENESS
OF THE OIL POLLUTION DETECTION METHOD
IN THE NEAR-IR RANGE FOR WATER BODIES
ON THE EARTH'S SURFACE**

N.V. Baryshnikov
M.B. Nguyen

baryshnikov@bmstu.ru
nguyenminhbach61097vt
@gmail.com

Yu.V. Fedotov
M.L. Belov

fed@bmstu.ru
belov@bmstu.ru

BMSTU, Moscow, Russian Federation

Abstract

The article presents measurements of the reflection spectra of unpolluted and oil-contaminated water bodies on the earth's surface in the near-IR range. Various types of petroleum products (commercial oil from the Moscow and Ryazan oil refineries, kerosene, diesel fuel, gas condensate, various brands of gasoline, and motor oils) are used as pollutants. The samples studied are laboratory models of water bodies (swamps and puddles on the earth's surface). The results obtained show that it is promising to use reflection spectra in the range of 1.6–1.8 μm for detecting oil and petroleum pollution

Keywords

*Near-IR range, earth's surface,
detection of oil pollution*

of water bodies on the earth's surface in the near-IR range. The use of equipment with three wide spectral channels of 50 nm width and central wavelengths of 1696, 1734, and 1775 nm allows for reliable detection of oil and motor oil pollution of water bodies with a low probability of incorrect detection of contaminants. It is possible to detect pollution of water bodies with lighter petroleum products (gasoline, kerosene, and diesel fuel), but the probability of detecting pollution is significantly lower

Received 03.06.2025

Accepted 26.06.2025

© Author(s), 2026

REFERENCES

- [1] Ismailova N.M., Nadjafova S.I. Experience in assessing environmental risks of main oil pipelines in Azerbaijan through the prism of soil biogeoresistance to crude oil pollution. *Moscow Univ. Soil Sci. Bull.*, 2022, vol. 77, no. 3, pp. 196–202. DOI: <https://doi.org/10.3103/S014768742203005X>
- [2] Huettel M. Oil pollution of beaches. *Curr. Opin. Chem. Eng.*, 2022, vol. 36, art. 100803. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.coche.2022.100803>
- [3] Kuany P.B.G., Zhou X., Abdelhafeez I.A., et al. Oil contaminated soil, global environmental impact (overview). *IJCSI*, 2019, vol. 1, no. 5, pp. 124–129.
- [4] Adegboye M.A., Fung W.-K., Karnik A. Recent advances in pipeline monitoring and oil leakage detection technologies: principles and approaches. *Sensors*, 2019, vol. 19, no. 11, art. 2548. DOI: <https://doi.org/10.3390/s19112548>
- [5] Spandonidis C., Theodoropoulos P., Giannopoulos F.A. Combined semi-supervised deep learning method for oil leak detection in pipelines using IIoT at the edge. *Sensors*, 2022, vol. 22, no. 11, art. 4105. DOI: <https://doi.org/10.3390/s22114105>
- [6] Zhang J., Kane F. Leak detection and operations management in offshore pipelines. *11th International Pipeline Conference*, 2016, vol. 3, art. V003T04A012. DOI: <https://doi.org/10.1115/IPC2016-64488>
- [7] Keskin G., Teutsch C.D., Lenz A., et al. Concept of an advanced hyperspectral remote sensing system for pipeline monitoring. *Proc. SPIE*, 2015, vol. 9644. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.2194973>
- [8] Del’Papa R., Scafutto M., de Souza Filho C.R., et al. Hyperspectral remote sensing detection of petroleum hydrocarbons in mixtures with mineral substrates: implications for onshore exploration and monitoring. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*, 2017, no. 128, pp. 146–157. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.03.009>
- [9] Pelta R., Ben-Dor E. An exploratory study on the effect of petroleum hydrocarbon on soils using hyperspectral longwave infrared imagery. *Remote Sens.*, 2019, vol. 11, no. 5, art. 569. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs11050569>
- [10] Achard V., Foucher P.Y., Dubucq D. Hydrocarbon pollution detection and mapping based on the combination of various hyperspectral imaging processing tools. *Remote Sens.*, 2021, vol. 13, no. 5, art. 1020. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs13051020>

- [11] Hussein A.E., Marzouk A. Characterization of petroleum crude oils using laser induced fluorescence. *J. Pet. Environ. Biotechnol.*, 2015, vol. 6, no. 5, art. 240. DOI: <https://doi.org/10.4172/2157-7463.1000240>
- [12] Pashayev A., Tagiyev B., Allahverdiyev K., et al. LIDAR for remote sensing of contaminations on water and earth surfaces taking place during oil-gas production. *Proc. SPIE*, 2015, vol. 9810. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.2225219>
- [13] Fedotov Yu.V., Belov M.L., Gorodnichev V.A. Remote laser fluorescence method for oil leak detection at an excitation wavelength of 266 nm. *J. Opt. Technol.*, 2022, vol. 89, no. 5, pp. 286–290. DOI: <https://doi.org/10.1364/JOT.89.000286>
- [14] Andreoli G., Bulgarelli B., Hosgood B., et al. Hyperspectral analysis of oil and oil-impacted soils for remote sensing purposes. *Scientific and Technical Research Series. EUR 22739 EN* — DG Joint Research Centre. Luxembourg, European Communities, 2007. 36 p.
- [15] Horig B., Kuhn F. HyMap hyperspectral remote sensing to detect hydrocarbons. *Int. J. Remote Sens.*, 2001, vol. 22, no. 8, pp. 1413–1422. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431160120909>
- [16] Kühn F., Oppermann K., Hörig B. Hydrocarbon Index — an algorithm for hyperspectral detection of hydrocarbons. *Int. J. Remote Sens.*, 2004, vol. 25, no. 12, pp. 2467–2473. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431160310001642287>
- [17] Allen C.S., Krekeler M.P.S. Reflectance spectra of crude oils and refined petroleum products on a variety of common substrates. *Proc. SPIE*, 2010, vol. 7687. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.852200>
- [18] Allen C.S., Satterwhite M.B. Reflectance spectra of three liquid hydrocarbons on a common sand type. *Proc. SPIE*, 2006, vol. 6233. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.665586>
- [19] Tian Q. Study on oil-gas reservoir detecting methods using hyperspectral remote sensing. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, 2012, vol. XXXIX-B7, pp. 157–162. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XXXIX-B7-157-2012>
- [20] Minh N.B., Fedotov Yu.V., Baryshnikov N.V., et al. Experimental studies of a method for detecting oil pollution on the Earth's surface in the near-infrared range. *Proc. SPIE*, 2024, vol. 13217. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.3035931>
- [21] Minh B.N., Fedotov Yu.V., Baryshnikov N.V., et al. Influence of soil type on the detection of oil spills in the near infrared range. *AIP Conf. Proc.*, 2025, vol. 3268, art. 030016. DOI: <https://doi.org/10.1063/5.0257244>
- [22] Nguen M.B., Fedotov Yu.V., Baryshnikov N.V., et al. Study of the influence of number of spectral channels on the efficiency of the oil contamination detection method in the near-infrared range. *Kontenant*, 2025, vol. 24, no. 1, pp. 81–91 (in Russ.). EDN: SSSOUM
- [23] Brum J., Schlegel C., Chappell C., et al. Reflective spectra of gasoline, diesel, and jet fuel A on sand substrates under ambient and cold conditions: implications for detection using hyperspectral remote sensing and development of age estimation models. *Environ. Earth Sci.*, 2020, vol. 79, no. 19, art. 463. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12665-020-09165-2>

Baryshnikov N.V. — Dr. Sc. (Eng.), Head of the Department of Laser and Optoelectronic Systems, BMSTU (2-ya Baumanskaya ul. 5, str. 1, Moscow, 105005 Russian Federation).

Nguyen B.M. — Post-Graduate Student, Department of Laser and Optoelectronic Systems, BMSTU (2-ya Baumanskaya ul. 5, str. 1, Moscow, 105005 Russian Federation).

Fedotov Yu.V. — Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Department of Laser and Optoelectronic Systems, BMSTU (2-ya Baumanskaya ul. 5, str. 1, Moscow, 105005 Russian Federation).

Belov M.L. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Department of Laser and Optoelectronic Systems, BMSTU (2-ya Baumanskaya ul. 5, str. 1, Moscow, 105005 Russian Federation).

Please cite this article in English as:

Baryshnikov N.V., Nguyen B.M., Fedotov Yu.V., et al. Experimental studies on the effectiveness of the oil pollution detection method in the near-IR range for water bodies on the earth's surface. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University, Series Instrument Engineering*, 2026, no. 1 (154), pp. 4–16 (in Russ.).

EDN: HWGOIN