



# Обзор дистанционных методов обнаружения нефтяных загрязнений водных объектов в Российской Федерации

В.В. Беленко<sup>1</sup>✉, А.В. Новочадова<sup>1</sup>

## АФФИЛИАЦИИ

<sup>1</sup> Московский государственный университет геодезии и картографии, Москва, Россия

✉ belenko.v.v@yandex.ru

## ЦИТИРОВАНИЕ

Беленко В.В., Новочадова А.В. Обзор дистанционных методов обнаружения нефтяных загрязнений водных объектов в Российской Федерации // Пространственные данные: наука и технологии. 2025. Т. 16, № 1. С. 8–26. DOI:10.30533/scidata-2025-16-01.

## КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

нефтяные загрязнения, мониторинг водных объектов, дистанционные методы, радиолокационная съемка, оптико-электронная съемка

## АННОТАЦИЯ

В настоящее время мониторинг водных объектов, направленный на своевременное выявление и предотвращение загрязнений, является особенно актуальным. Его необходимость отмечена рядом нормативно-правовых актов Российской Федерации. Одним из самых опасных видов загрязнений является загрязнение нефтепродуктами, поскольку оно наносит значительный экологический ущерб водным экосистемам, биоразнообразию и качеству водных ресурсов. Данная статья посвящена анализу современной ситуации в обнаружении и исследовании дистанционными методами нефтяных загрязнений водных объектов. Преимущество дистанционных методов в сравнении с традиционными выражается в скорости обнаружения загрязнений и меньших финансовых затратах, связанных с поддержанием оборудования и оплатой труда. В статье особое внимание

уделено современным дистанционным технологиям, включая спутниковый мониторинг и использование беспилотных воздушных судов, которые позволяют оперативно выявлять загрязнения как на больших, так и на локальных территориях. Проведен анализ особенностей, преимуществ и ограничений радиолокационной и оптико-электронной съемки. Рассмотрены возможности интеграции данных методов для повышения точности и оперативности мониторинга. Результаты исследования могут быть использованы для разработки стратегий по минимизации экологического ущерба, для повышения эффективности экологического контроля и управления водными ресурсами.

## 1 Введение

Загрязнение водных объектов нефтепродуктами представляет собой одну из наиболее острых экологических проблем, приводящую к разрушению водных экосистем и нарушению гидрологического режима. К нефтепродуктам относятся готовые продукты, полученные при переработке нефти, газоконденсатного, углеводородного и химического сырья<sup>1</sup>. Загрязнение поверхностных водоемов нефтепродуктами происходит преимущественно в результате эксплуатационных и аварийных потерь (при авариях танкеров, разрывах трубопроводов, утечках при заправке судов и т. д.), приводящих к формированию нефтяных пленок, образованию стойкой эмульсии и осадка, оседающего на дно и водные растения [1].

На территории России проводится регулярный государственный мониторинг водных объектов, который «представляет собой систему наблюдений, оценки и прогноза изменений состояния водных объектов, находящихся в федеральной собственности, собственности субъектов Российской Федерации, собственности муниципальных образований, собственности физических лиц, юридических лиц»<sup>2</sup>. Однако, несмотря на существующую систему наблюдений, проблема обнаружения и ликвидации нефтяных загрязнений остается острой, особенно в условиях роста промышленной активности и увеличения объемов транспортировки нефти.

Актуальность рассматриваемой проблемы обусловлена масштабами ее воздействия на окружающую среду. В связи с этим совершенствование методов обнаружения нефтяных загрязнений становится важной задачей в рамках государственного мониторинга водных объектов. Современные методы позволяют не только оперативно выявлять источники загрязнений, но и оценивать их масштабы, что становится ключевым фактором для принятия эффективных управленческих решений.

<sup>1</sup> ГОСТ 26098-84. Нефтепродукты. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2010. 12 с.

<sup>2</sup> Водный кодекс Российской Федерации: принят Государственной думой 12 апреля 2006 г.: одобрен Советом Федерации 26 мая 2006 г. (ред. от 8 августа 2024 г.) // Официальный интернет-портал правовой информации. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102107048> (дата обращения: 23.03.2025).

Целью данного исследования является систематизация получивших активное развитие в последние годы, но пока не имеющих единых стандартов применения в российской практике дистанционных методов обнаружения нефтяных загрязнений водных объектов. Несмотря на растущую популярность технологий дистанционного мониторинга, их внедрение в систему экологического контроля остается фрагментарным и требует научного обоснования. Исследование направлено на создание методической основы применения дистанционных технологий обнаружения нефтепродуктов в поверхностных водоемах с перспективой ее использования природоохранными организациями Российской Федерации.

## 2 Материалы и методы

Для обзора дистанционных методов обнаружения и исследования нефтяных загрязнений водных объектов были использованы общие научные методы исследования. Проведен анализ научных статей, посвященных современным дистанционным методам обнаружения нефтяных загрязнений, включая спутниковый мониторинг и применение пилотируемых или беспилотных воздушных судов. Представлена классификация некоторых организаций Российской Федерации по направлениям их исследований в области дистанционных методов мониторинга и частных случаев обнаружения нефтяных загрязнений. Приведено сравнение эффективности методов радиолокационной и оптико-электронной съемки в зависимости от задач.

В качестве материалов исследования были использованы труды как зарубежных ученых (Национальная академия наук Азербайджана), так и российских специалистов из передовых образовательных учреждений, научно-исследовательских и инженерно-технологических организаций (**табл. 1**).

Для анализа законодательных требований к мониторингу и ликвидации нефтяных загрязнений использовались подзаконные акты и нормативные документы, устанавливающие применяемые в науке, технике и производстве термины и определения понятий, относящихся к нефтепродуктам и их свойствам (ГОСТ 26098-84 «Нефтепродукты. Термины и определения»), а также регулирующие деятельность в области предупреждения и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов (Водный кодекс Российской Федерации, Кодекс внутреннего водного транспорта Российской Федерации).

Ниже представлено описание дистанционных методов обнаружения и исследования нефтяных загрязнений водных объектов — радиолокационной и оптико-электронной съемки.

**Таблица 1** Исследования российских организаций в области методов обнаружения нефтяных загрязнений

**Table 1** Research from Russian organizations in the field of oil spill detection methods

Предмет исследования		Организация РФ
Системы дистанционного зондирования Земли		Иркутский государственный университет (Иркутск)
		Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I (Воронеж)
Качественные и количественные лабораторные методы		Севастопольский государственный университет совместно с ООО «Генезис Таврида» (Севастополь)
Радиолокационная съемка	Теоретическая основа	Центр эксплуатации объектов наземной космической инфраструктуры (Москва)
		Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина (Екатеринбург)
		Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН совместно с АО «Концернрадиостроения “Вега”» (Москва)
		Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН (Фрязино) совместно с АО «Российские космические системы» (Москва)
	Теоретическая основа и практическое применение	Институт космических исследований РАН совместно с Институтом океанологии им. П.П. Ширшова РАН (Москва)
Опτικο-электронная съемка	Теоретическая основа	Университет науки и технологий МИСИС (Москва)
	Практическое применение	Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского (Санкт-Петербург)
		Морской государственный университет имени адмирала Г.И. Невельского (Владивосток)
		Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН (Москва)
Комплексное практическое использование радиолокационной и оптико-электронной съемки		Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН совместно с Инженерно-технологическим центром «СКАНЭКС» (Москва)
		Сибирский государственный университет геосистем и технологий (Новосибирск)

## 2.1 Радиолокационная съемка

Основным инструментом для мониторинга нефтяных загрязнений являются радиолокационные спутники с синтезированной апертурой (РСА). Радиолокационную съемку на различных частотных диапазонах поддерживают или поддерживали при работе следующие космические аппараты: Capella X-SAR — X-диапазон (США), Envisat — С-диапазон (Европа), KOMPSAT-5 — X-диапазон (Южная Корея) и пр. (рис. 1<sup>3</sup>). Ряд из них уже не эксплуатируется, однако для анализа разновременных снимков используются архивные данные. Среди российских разработок стоит выделить серию малых спутников

**Рис. 1** Радиолокационные спутники

**Fig. 1** Radar satellites



**ALOS-2**

Частотный диапазон: L  
Япония



**«Кондор-ФКА» № 2**

Частотный диапазон: S  
Российская Федерация



**RADARSAT-2**

Частотный диапазон: C  
Канада

<sup>3</sup> Радарные спутники // Геопространственное агентство «Иннотер». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://innoter.com/radar-satellites/> (дата обращения: 12.03.2025).

дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) «Кондор». Последним на данный момент запуском стал «Кондор-ФКА» № 2, который был успешно выведен на орбиту 30 ноября 2024 года<sup>4</sup>.

В радиолокационных системах ДЗЗ из космоса информация формируется в виде радиолокационных изображений (РЛИ), параметры которых зависят от условий съемки, характеристик аппаратуры, физико-геометрических свойств наблюдаемой поверхности (рельефа, влажности, растительности и др.), а также состояния атмосферы. По характеру и интенсивности отражения радиоизлучения, фиксируемых на РЛИ, осуществляется дешифрирование элементов на снимке (почва, водные поверхности и другие объекты). Однако при интерпретации данных необходимо учитывать особенности формирования РЛИ, включая геометрию бокового обзора (углы падения 20–60°), съемку на одной длине волны при когерентном излучении, а также возможные искажения (радиолокационная тень, смещение движущихся объектов) и наличие спекл-шума [2].

На радиолокационных изображениях нефтяные загрязнения отображаются в виде темных пятен из-за подавления мелкомасштабного ветрового волнения. Этот эффект связан с изменением поверхностного натяжения и вязкости водной поверхности, что снижает энергию коротковолнового рассеяния радиосигнала. Преимуществами такой съемки являются широкое покрытие поверхности Земли, высокое пространственное разрешение, предоставление информации о положении разливов, возможность картографирования разлива и судна (с учетом отличия нефтяных пятен от прочих сликов с помощью мультиполяризационных РСА). К ограничениям можно отнести работу в узком диапазоне скоростей ветра (3–10 м/с), высокую зависимость от характеристик самой нефти, неспособность различить тип и измерить толщину пленок нефти и нефтепродуктов [3, 4].

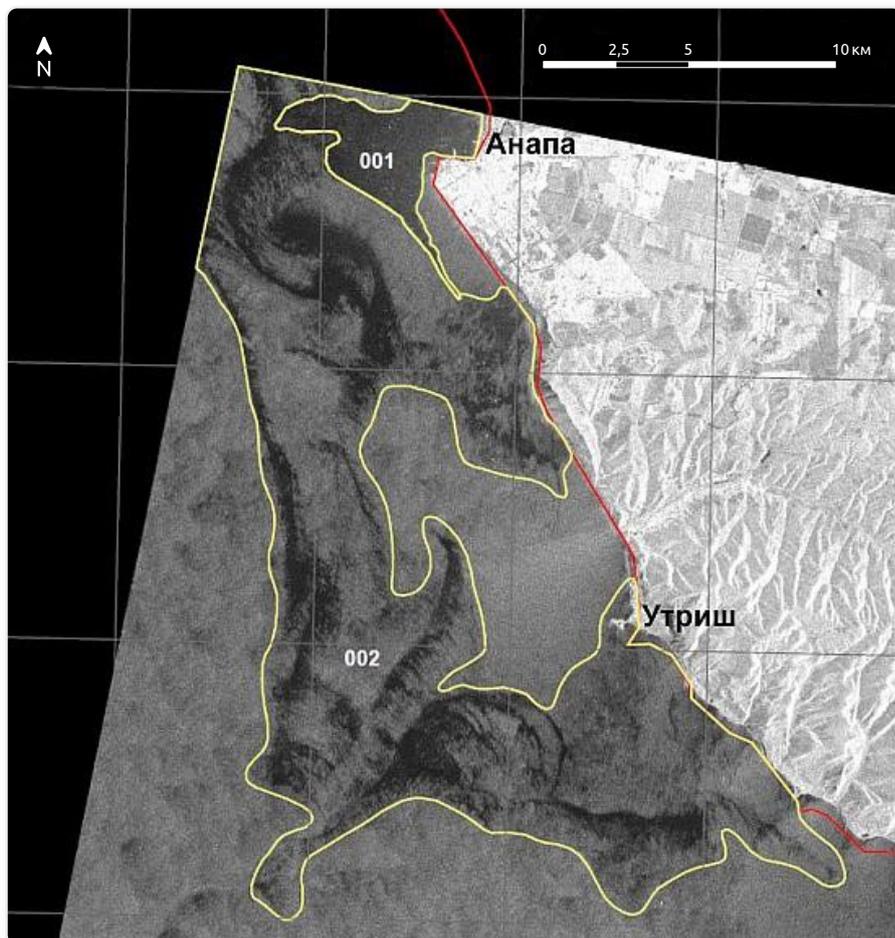
Таким способом по РЛИ спутников ERS-1, ERS-2, Envisat IM и Envisat WSM с помощью геоинформационных систем (ГИС) ArcGIS и ERDAS Imagine были обнаружены нефтяные пленки в районах о. Сахалин, в Каспийском море и в Сиамском заливе в 1991–2004 годах [4]. В настоящее время данный метод также активно применяется. Для оперативного мониторинга последствий аварии танкеров у побережья Анапы (Черное море) в декабре 2024 года были использованы радиолокационные снимки спутников Sentinel-1A и RADARSAT. Обработка данных выполнялась в системе See the Sea. Данные, полученные 15–23 декабря 2024 года, позволили отследить динамику распространения нефтяного загрязнения под воздействием изменяющихся ветровых условий. Радиолокационная

---

<sup>4</sup> С Восточного запущен второй радиолокационный спутник «Кондор-ФКА» // ЦЭНКИ. Космодромы России. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.russian.space/press-tsentr/novosti/s-vostochnogo-zapushchen-vtoroy-radiolokatsionnyy-sputnik-kondor-fka.html> (дата обращения: 23.03.2025).

**Рис. 2** Радиолокационное изображение со спутника RADARSAT в районе Анапы в 2024 г.

**Fig. 2** RADARSAT radar image near Анапа, 2024



съемка четко визуализировала границы загрязнения, на **рис. 2** желтая линия оконтуривает нефтяное загрязнение<sup>5</sup>.

Таким образом, радиолокационная съемка представляет собой надежный инструмент для обнаружения крупных нефтяных пленок на поверхности морей. Перспективы развития метода связаны с интеграцией радиолокационных данных с информацией из других источников дистанционного зондирования, что позволит преодолеть существующие ограничения и создать более надежную систему мониторинга.

<sup>5</sup> Спутниковый мониторинг мазутного разлива в районе Керченского пролива 15 декабря 2024 г. // Институт космических исследований РАН. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://iki.cosmos.ru/news/sputnikovyy-monitoring-mazutnogo-razliva-v-rayone-kerchenskogo-proлива-15-dekabrya-2024-g> (дата обращения: 12.04.2025).

## 2.2 Оптико-электронная съемка

Другим методом является использование многозональных и гиперспектральных изображений. В отличие от многозональных, гиперспектральные снимки характеризуются значительно большим количеством спектральных каналов (сотни против десятков) и более высоким спектральным разрешением (единицы нм против десятков нм) [5]. Такие данные могут быть получены с использованием как беспилотных или пилотируемых воздушных судов, оснащенных специализированным оборудованием, так и космических аппаратов.

В основе многозональной и гиперспектральной съемки лежит регистрация отраженного электромагнитного излучения объектов земной поверхности в широком спектральном диапазоне. Для интерпретации этих данных в основном применяются алгоритмы контролируемой или неконтролируемой классификации, которые обеспечивают распознавание и идентификацию объектов на основе спектральных характеристик. Ключевой задачей является дешифрирование данных ДЗЗ, основанное на распределении пикселей изображения по классам на основе заданных спектральных или пространственных признаков. Однако при использовании снимков необходимо учитывать условия проведения съемки (солнечный угол, облачность), спектральный диапазон съемки и разрешающую способность оптики [6].

Что касается космического мониторинга, современные спутники ДЗЗ часто оснащены различными типами сенсоров (например, панхроматическими, спектральными или гиперспектральными, тепловыми), что позволяет комбинировать их для различных типов задач. Яркими примерами выступают Sentinel-2A — 12 каналов (RGB + NIR + SWIR) (Франция), Pixxel — 250 каналов (VNIR + SWIR) (Индия) и пр. (рис. 3<sup>6</sup>).

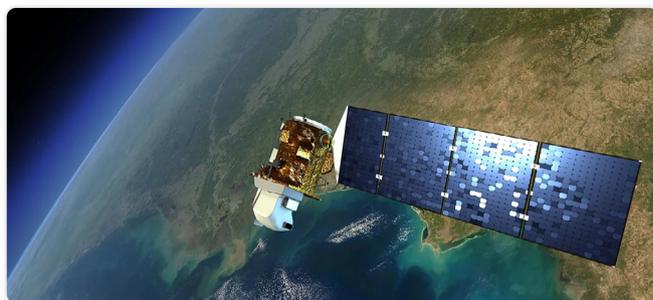
Так, в работе [7] с помощью авиационной и спутниковой гиперспектральной съемки были исследованы спектральные характеристики морской поверхности для идентификации типовых загрязнений, таких как нефтепродукты и минеральные взвеси. На основе теоретических и экспериментальных данных автором разработана система устойчивых спектральных признаков, позволяющая автоматизировать процесс обнаружения и классификации загрязнений. Предложенные методы апробированы на акваториях Финского залива, Баренцева и Черного морей.

---

6 Оптико-электронные спутники // Геопространственное агентство «Иннотер». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://innoter.com/opto-elect-satellites> (дата обращения: 14.03.2025); PRISMA. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.asi.it/scienze-della-terra/prisma> (дата обращения: 14.03.2025).

**Рис. 3** Оптико-электронные спутники

**Fig. 3** Optoelectronic satellites



**Landsat-8**

Набор каналов: 11 шт.  
PAN + RGB + NIR + SWIR + TIR  
США



**«Ресурс-П» № 1**

Набор каналов: 5 шт.  
PAN + RGB + NIR  
Российская Федерация



**PRISMA**

Набор каналов: 250 шт.  
PAN + VNIR + SWIR  
Италия

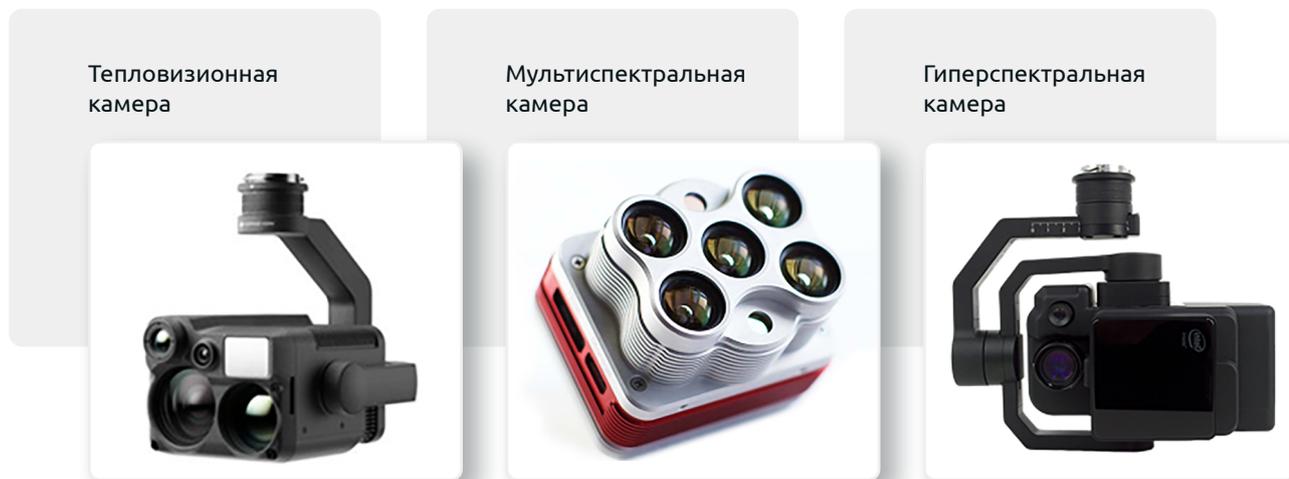
Для оперативного мониторинга локального масштаба также используют беспилотные воздушные судна, оснащенные в основном тепловизионной, мультиспектральной или гиперспектральной камерой (рис. 4<sup>7</sup>).

Применение тепловизора и флуориметра на беспилотных летательных аппаратах (БПЛА) для мониторинга загрязнений нефтепродуктами прибрежных вод

7 Zenmuse H20N. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://dji-rus.ru/professionalnoe-oborudovanie-dlya-dronov/zenmuse-h20n> (дата обращения: 14.03.2025); Мультиспектральная камера MicaSense Altum. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://aeromotus.ru/product/multispektralnaya-kamera-micasense-altum-ustanovochnyj-komplekt-dji-skyport> (дата обращения: 14.03.2025); Hyperspectral Camera FigSpec. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.figspec.com/en/h-col-180.html> (дата обращения: 14.03.2025).

Рис. 4 Оборудование для беспилотных воздушных судов

Fig. 4 Equipment for unmanned aircraft



и береговой полосы было описано в патенте RU2720050C1<sup>8</sup>. Комбинация инфракрасной съемки и лазерно-индуцированной флуоресценции позволила достичь высокой точности детектирования нефтяных пленок толщиной до 100 мкм и минимизировать ложные срабатывания. Ключевым преимуществом метода является синхронизация измерений флуоресценции с моментом нормального падения лазерного луча на водную поверхность, что снижает влияние волнения и обеспечивает надежность данных даже в сложных условиях. Разработанная система успешно апробирована на БПЛА октокоптерного типа.

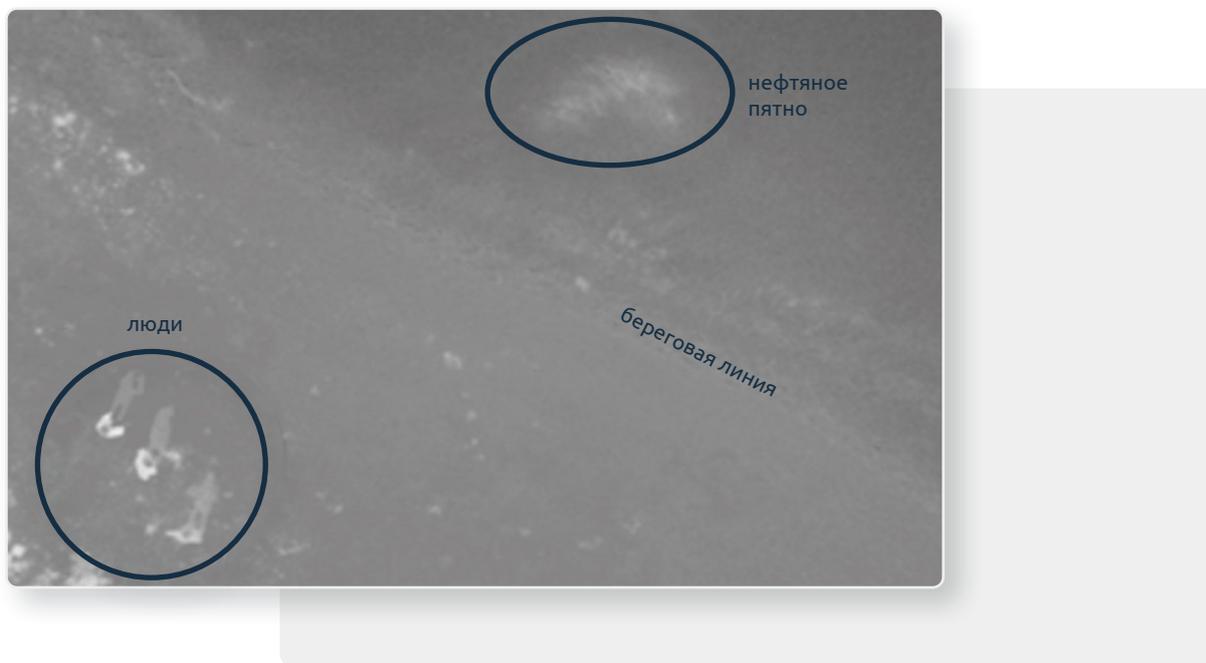
Авторами была разработана методика, основанная на спектральном анализе объектов мониторинга [8]. В результате были выведены специализированные аналитические выражения — индексы коэффициентов спектральной яркости. С помощью ГИС «Нева» на водной поверхности были обнаружены нефтепродукты, включая тонкие пленки нефти, дизельного топлива и лодочного масла. Полевые испытания на водных полигонах в Анапе и Астрахани, проведенные с помощью мультиспектральной камеры, установленной на БПЛА, подтвердили возможность обнаружения пятен размером от 10 см. На снимках из Астрахани удалось идентифицировать нефтяное пятно, береговую линию и людей (рис. 5). В работе также дополнительно рассматривались варианты применения машинного обучения для автоматизированной сегментации загрязнений.

Таким образом, оптико-электронная съемка представляет собой мощный инструмент для экологического мониторинга, сочетающий глобальный охват спутниковых данных с высокой детализацией авиационных и беспилотных систем.

<sup>8</sup> Патент № 2720050 Российская Федерация, МПК G01N 21/64, G01N 21/35. Способ обнаружения загрязнений прибрежных вод и береговой полосы нефтью или нефтепродуктами с использованием беспилотного летательного аппарата: № 2019100236: заявл. 09.01.2019; опубл. 23.04.2020 / Коровецкий Д.А., Букин О.А., Проценко Д.Ю., Матецкий В.Т.; заявитель МГУ им. адм. Г.И. Невельского. 9 с.

**Рис. 5** Обработанное изображение с мультиспектральной камеры (Астрахань)

**Fig. 5** Processed image from a multispectral camera (Astrakhan)



### 3 Результаты

Проведенный обзор позволил раскрыть преимущества и ограничения радиолокационной и оптико-электронной съемки в рамках обнаружения и исследования загрязнений водных объектов нефтепродуктами, а также рассмотреть практические способы применения данных методов.

В ряде изученных работ одним из инструментов интерпретации результатов являются геоинформационные системы (ГИС), которые позволяют интегрировать данные, полученные различными методами, и создать комплексные карты загрязнений. Однако важно помнить, что для данных, полученных с космических аппаратов и пилотируемых или беспилотных воздушных судов, необходима первичная обработка. В калибровке и коррекции нуждаются данные как радиолокационной [9, 10], так и оптико-электронной [11] съемки. При непосредственной обработке материалов важно учитывать разрешающую способность используемых систем дистанционного зондирования: спектральное, радиометрическое, временное, пространственное разрешение<sup>9</sup>.

Спутниковый мониторинг и мониторинг пилотируемыми воздушными судами доказали свою эффективность при обнаружении нефтяных пленок на поверхности

<sup>9</sup> Сутырина Е.Н. Дистанционное зондирование Земли: учеб. пособие. Иркутск: ИГУ, 2013. 165 с.

крупных водных акваторий: Каспийского, Баренцева и Черного морей, Сиамского и Финского заливов. Беспилотные воздушные судна продемонстрировали высокую точность для оперативного мониторинга в локальных масштабах (озера, малые реки, побережья морей) даже при низких концентрациях нефтепродуктов — нефтяных пленок толщиной до 100 мкм и размером от 10 см.

Нельзя однозначно утверждать, какой метод лучше: радиолокационный или оптико-электронный, поскольку их эффективность определяется конкретными условиями применения и требованиями к данным. Для повышения точности исследований целесообразно использовать гибриды методов.

Комплексное применение многозональных и радиолокационных изображений помогает устранить неоднородность и немонотонность спектрального фона, вызванные слабо выраженными морскими процессами, повышает эффективность существующих алгоритмов для выявления искусственных пленок и естественных нефтяных разливов. Одним из примеров успешного применения данной технологии является мониторинг восточной части Черного моря в 2011 и 2012 годах, когда по спутниковым данным с радиолокационных спутников Envisat, RADARSAT-1 и RADARSAT-2 и оптико-электронных спутников Terra и Aqua были выявлены случаи мойки танков в российском секторе моря, которые привели к образованию обширных нефтяных пленок [3]. Аналогичный подход был применен при выявлении мест нефтезагрязнений шельфовой зоны в акватории Нефтяных Камней (Каспийское море). В этом случае были использованы многозональные космические снимки со спутника Sentinel-2A и радиолокационные снимки со спутника Sentinel-1A, обработанные в ГИС ERDAS Imagine [12].

## 4 Обсуждение

Несмотря на описанные выше преимущества дистанционных методов, качественные и количественные лабораторные методы анализа нефтепродуктов в объектах окружающей среды все еще являются незаменимыми для экологического мониторинга и контроля загрязнений. Они обладают высокой точностью и возможностью определения широкого спектра компонентов. Указанные методы поддерживаются нормативно-технической документацией, хорошо разработаны и стандартизированы, имеют подробное описание методики и ПДК веществ. Однако эти методы требуют значительных временных и ресурсных затрат, их проблематично применять в труднодоступных районах или при сложных погодных условиях [13]. Комбинирование полевых, лабораторных и дистанционных методов повысит точность и достоверность результатов, что особенно важно для оперативного реагирования на разливы нефти.

Дистанционные методы обнаружения нефтяных загрязнений водных объектов играют ключевую роль в оперативном мониторинге, быстром реагировании на аварийные разливы и выявлении источников загрязнения, включая умышленные сбросы нефтепродуктов. Использование таких методов способствует соблюдению требований российского законодательства в сфере охраны окружающей среды. Согласно статье 56 Водного кодекса РФ<sup>10</sup>, запрещается сброс и захоронение в водные объекты отходов производства и потребления, включая нефтепродукты и части судов. Дистанционный мониторинг позволяет выявлять такие нарушения, фиксируя несанкционированные разливы и их источники. Кодекс внутреннего водного транспорта РФ<sup>11</sup> в статье 39 обязывает судовладельцев разрабатывать планы по предотвращению разливов нефти и по ликвидации их последствий. Под термином «нефть» в данном контексте понимаются все виды стойких углеводородных жидкостей, такие как сырая нефть, мазут, дизельное топливо и смазочные масла, как в виде груза, так и в виде бункерного топлива, используемого на судне.

Дистанционные методы помогают контролировать соблюдение указанных требований, оперативно выявляя загрязнения и даже суда-нарушители. Несоблюдение природоохранных норм, выявленное в том числе с помощью дистанционного мониторинга, может повлечь административную или уголовную ответственность. Данные, полученные с помощью таких методов, могут служить доказательной базой при расследовании экологических правонарушений.

## 5 Выводы

Загрязнение водных объектов нефтепродуктами остается одной из наиболее серьезных экологических проблем, требующей эффективных методов мониторинга и оперативного реагирования. В России существует большое количество научных групп, которые занимаются теоретическими и практическими исследованиями в области дистанционных методов мониторинга нефтяных загрязнений на водных объектах. В связи с интенсивным развитием технологий ежегодно разрабатываются новые алгоритмы обработки данных, совершенствуются существующие подходы, внедряются инновационные технические

---

10 Водный кодекс Российской Федерации: принят Государственной думой 12 апреля 2006 г.: одобрен Советом Федерации 26 мая 2006 г. (ред. от 8 августа 2024 г.) // Официальный интернет-портал правовой информации. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102107048> (дата обращения: 23.03.2025).

11 Кодекс внутреннего водного транспорта Российской Федерации: принят Государственной думой 7 февраля 2001 г.: одобрен Советом Федерации 22 февраля 2001 г. (ред. от 8 августа 2024 г.) // Официальный интернет-портал правовой информации. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102069974> (дата обращения: 23.03.2025).

решения, что способствует повышению точности, оперативности и эффективности мониторинга. Это обусловлено прогрессом в области ДЗЗ, машинного обучения и обработки больших массивов данных.

Проведенный анализ современных дистанционных методов мониторинга нефтяных загрязнений водных объектов показал, что у радиолокационной и оптико-электронной съемки есть большой потенциал для оперативного выявления разливов нефтепродуктов. Радиолокационные системы эффективно обнаруживают нефтяные пленки за счет подавления ветрового волнения. Оптико-электронные методы обеспечивают высокую детализацию, что позволяет не только выявлять загрязнения, но и определять их тип. Сочетание дистанционных методов является наиболее эффективным подходом для обнаружения и мониторинга нефтяных загрязнений. Перспективным направлением исследований является развитие технологий искусственного интеллекта для автоматической обработки данных различных видов съемки.

В настоящее время качественные и количественные лабораторные методы анализа все еще остаются незаменимыми для точного анализа химического состава загрязнений, но требуют дальнейшей автоматизации для повышения оперативности.

Таким образом, проблема нефтяных загрязнений требует комплексного подхода, основанного на междисциплинарных исследованиях и использовании передовых технологий. Результаты данного исследования могут быть полезны для совершенствования системы государственного мониторинга водных объектов, а также для разработки стратегий по минимизации экологического ущерба от нефтяных загрязнений.

## БИБЛИОГРАФИЯ

1. Молочников Д.Е., Мустякимов Р.Н., Лисин А.В. и др. Виды и источники потерь нефтепродуктов // Теория и практика современной аграрной науки: сборник IV Национальной (Всероссийской) научной конференции с международным участием. Новосибирск: Золотой колос, 2021. С. 360–363.
2. Коберниченко В.Г., Сосновский А.В. Космические радиолокационные системы с синтезированной апертурой антенны // Всероссийские открытые Армандовские чтения: молодежная школа «Проблемы дистанционного зондирования, распространения и дифракции радиоволн». Муром: Издательско-полиграфический центр МИ ВлГУ, 2022. № 1. С. 5–20.
3. Иванов А.Ю., Кучейко А.А., Филимонова Н.А. и др. Использование космической радиолокационной съемки и данных автоматических систем идентификации судов для выявления судовых разливов в Черном море // Исследование Земли из космоса. 2013. № 5. С. 84–98. DOI:10.7868/s0205961413050011.
4. Иванов А.Ю., Зятыгалова В.В. Картографирование пленочных загрязнений моря с использованием космической радиолокации и географических

- информационных систем // Исследование Земли из космоса. 2007. № 6. С. 46–63.
5. Гусейнов А.Р. Некоторые аспекты отличия гиперспектральных данных от многозональных // Перспективы развития информационных технологий. 2015. № 23. С. 16–18.
  6. Хвостов Д.В., Макаренко С.А. Спутниковые навигационные системы // Актуальные проблемы землеустройства, кадастра и природообустройства: материалы IV Международной научно-практической конференции факультета землеустройства и кадастров ВГАУ. Воронеж: Воронежский ГАУ, 2022. С. 210–222.
  7. Жуков Д.В. Спектральные признаки для идентификации типовых загрязнений акваторий морей по данным авиационной и космической съемки // Оптика атмосферы и океана. 2016. Т. 29. № 7. С. 560–565. DOI:10.15372/AOO20160705.
  8. Вытовтов К.А., Барабанова Е.А., Новочадова А.В. и др. Идентификация нефтяных загрязнений водной поверхности с использованием БПЛА // Автоматизация в промышленности. 2024. № 6. С. 52–56. DOI:10.25728/avtprom.2024.06.07.
  9. Калинкевич А.А., Кутуза Б.Г., Плющев В.А. Влияние первичной обработки голографических данных РСА на результаты интерпретации радиолокационных изображений // Всероссийские открытые Армандовские чтения: материалы Всероссийской открытой научной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн». Муром: МИ ВлГУ, 2023. С. 210–216.
  10. Костюк Е.А., Захаров А.И. Радиометрическая калибровка радиолокационных изображений // Материалы 22-й Международной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». М.: ИКИ РАН, 2024. С. 42. DOI:10.21046/22DZZconf-2024a.
  11. Богомоллов В.Ю. Обзор методов обработки и анализа мультиспектральных изображений полей с помощью глубоких нейронных сетей // Облачные и распределенные вычислительные системы в электронном управлении (ОРВСЭУ-2022) в рамках Национального суперкомпьютерного форума (НСКФ-2022): сборник трудов 3-й Международной научно-технической конференции. Переславль-Залесский: Институт программных систем им. А.К. Айламазяна РАН, 2022. С. 86–91.
  12. Гулиев А.Ш.О., Хлебникова Т.А. Выявление мест нефтезагрязнений шельфовой зоны по материалам космических съемок (на примере акватории нефтяных камней (Каспий)) // Вестник СГУГиТ. 2019. Т. 24. № 3. С. 52–64. DOI:10.33764/2411-1759-2019-24-3-52-64.
  13. Широков И.Б., Марончук И.И. Методы определения водосодержания в нефти и нефтепродуктах, остаточного содержания нефтепродуктов в воде // Энергетические установки и технологии. 2017. Т. 3. № 4. С. 130–145.

## **АВТОРЫ**

### **Беленко Виктор Владимирович**

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии»

(МИИГАиК), Москва, Россия

кафедра космического мониторинга и экологии, картографический факультет

д-р техн. наук, профессор

 0000-0002-7159-7428

### **Новочадова Арина Валерьевна**

 arinanova@gambler.ru

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии»

(МИИГАиК), Москва, Россия

кафедра картографии, картографический факультет

Поступила 28.04.2025. Принята к публикации 23.06.2025. Опубликовано 27.06.2025.

UDC 528.8

DOI:10.30533/scidata-2025-16-01



# Review of Remote Methods of Detection and Investigation of Oil Pollution of Water Bodies in the Russian Federation

Victor V. Belenko<sup>1</sup>✉, Arina V. Novochadova<sup>1</sup>

## AFFILIATIONS

<sup>1</sup> Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia  
✉ belenko.v.v@yandex.ru

## CITATION

Belenko VV, Novochadova AV. Review of Remote Methods of Detection and Investigation of Oil Pollution of Water Bodies in the Russian Federation. *Spatial Data: Science, Research and Technology*. 2025;16(1): 8–26. DOI:10.30533/scidata-2025-16-01.

## KEYWORDS

oil pollution, monitoring of water bodies, remote methods, radar imaging, optical-electronic imaging

## ABSTRACT

At present, monitoring of water bodies aimed at timely detection and prevention of pollution is topical and its necessity is noted by a number of regulatory legal acts of the Russian Federation. One of the most dangerous types of pollution is oil pollution, as it causes significant environmental damage to aquatic ecosystems, biodiversity and quality of water resources. This article is devoted to the analysis of the current state of detection and investigation of oil pollution of water bodies on the basis of remote sensing methods. The advantage of remote methods in comparison with traditional methods is expressed in the speed of pollution detection and lower financial costs associated with the maintenance of equipment and labour. In the paper special attention is paid to modern remote technologies, including satellite monitoring and the use of unmanned aircrafts,

which allow to promptly detect pollution both in large and localised areas. The features of radar and optoelectronic imaging are considered. The advantages and limitations of each method are analysed, and the possibilities of their integration to improve the accuracy and efficiency of monitoring are considered. The results of the study can be used to develop strategies to minimise environmental damage, improve the efficiency of environmental control and water resources management.

## REFERENCES

1. Molochnikov DE, Mustjakimov RN, Lisin AV, et al. Vidy i istochniki poter' nefteproduktov [Types and sources of petroleum product losses]. *Collection of IV National (All-Russian) scientific conference with international participation "Theory and Practice of Modern Agrarian Science"*. Novosibirsk: Zolotoj kolos; 2021: 360–363. (In Russian).
2. Kobernichenko VG, Sosnovsky AV. Kosmicheskie radiolokacionnye sistemy s sintezirovannoj aperturoj anteny [Space radar systems with synthesized antenna aperture]. *Materials of the All-russian open Armandov readings: youth school "Problems of remote sensing, propagation and diffraction of radio waves"*. 2022;1: 5–20. (In Russian).
3. Ivanov AYu, Kucheiko AA, Filimonova NA, et al. Ispol'zovanie kosmicheskoy radiolokacionnoj s'emki i dannyh avtomaticheskikh sistem identifikacii sudov dlja vyjavlenija sudovyh razlivov v Chernom more [Using satellite SAR imagery and automated identification system data for identification of shipmade oil spills in the Black sea]. *Earth research from space*. 2013;5: 84–98. (In Russian). DOI:10.7868/s0205961413050011.
4. Ivanov AYu, Zatyagalova VV. Kartografirovanie plenochnyh zagrjaznenij morja s ispol'zovaniem kosmicheskoy radiolokacii i geograficheskikh informacionnyh sistem [Mapping oil spills in the marine environment using satellite radar imagery and geographic information systems]. *Earth research from space*. 2007;6: 46–63. (In Russian).
5. Gusejnov AR. Nekotorye aspekty otlichija giperspektral'nyh dannyh ot mnogozonal'nyh [Some aspects of the difference between hyperspectral data and multispectral data]. *Prospects for the development of information technologies*. 2015;6: 16–18. (In Russian).
6. Khvostov DV, Makarenko SA. Sputnikovye navigacionnye sistemy [Satellite navigation system]. *Materials of the IV International Scientific and Practical Conference of the Faculty of Land Management and Cadastre of VSAU "Actual Problems of Land Management, Cadastre and Nature Management"*. Voronezh: Voronezh SAU; 2022: 210–222. (In Russian).
7. Zhukov DV. Spektral'nye priznaki dlja identifikacii tipovyh zagrjaznenij akvatorij morej po dannyh aviacionnoj i kosmicheskoy s'emki [Spectral features for identification of the typical pollution of sea waters from aviation and space imageries]. *Atmospheric and Ocean Optics*. 2016;29(7): 560–565. (In Russian). DOI:10.15372/AOO20160705.

8. Vytovtov KA, Barabanova EA, Novochadova AV, et al. Identification of oil pollutions of water surface with the help of UAV. *Automation in Industry*. 2024;6: 52–56. (In Russian). DOI:10.25728/avtprom.2024.06.07.
9. Kalinkevich AA, Kutuza BG, Plyushev VA. Vlijanie pervichnoj obrabotki golograficheskikh dannyh RSA na rezul'taty interpretacii radiolokacionnyh izobrazhenij [The influence of primary processing of holographic data from SAR on the results of radar images interpretation]. *All-Russian open Armandov readings: Proceedings of the Russian Open Scientific Conference "Modern problems of remote sensing, radar, wave propagation and diffraction"*. Murom: MI VLGU; 2023: 210–216. (In Russian).
10. Kostjuk EA, Zaharov AI. Radiometricheskaja kalibrovka radiolokacionnyh izobrazhenij [Radiometric calibration of radar images]. *Proceedings of the 22nd International Conference "Modern Problems of the Earth Remote Sensing"*. Moscow: Space Research Institute of the RAS; 2024: 42. (In Russian). DOI:10.21046/22DZZconf-2024a.
11. Bogomolov VJu. Obzor metodov obrabotki i analiza mul'tispektral'nyh izobrazhenij polej s pomoshh'ju glubokih nejronnyh setej [Review of methods for processing and analysing multispectral field images using deep neural networks]. *Proceedings of the 3rd International Scientific and Technical Conference Cloud and Distributed Computing Systems in Electronic Governance (ORVSEU-2022) in the framework of the National Supercomputing Forum (NSCF-2022)*. Pereslavl-Zalessky: A.K. Ailamazyan Program Systems Institute of the RAS; 2022: 86–91. (In Russian).
12. Guliev ASHO, Khlebnikova TA. Revealing oil pollution spots on shelf zone with help of space survey (on the example of oil stones water area, Caspian sea). *Vestnik SSUGT*. 2019;24(3): 52–64. (In Russian). DOI:10.33764/2411-1759-2019-24-3-52-64.
13. Shirokov LB, Maronchuk LL. Metody opredelenija vodosoderzhaniya v nefti i nefteproduktah, ostatochnogo sodержaniya nefteproduktov v vode [Methods for determining water content in oil and petroleum products, residual content of oil products in water]. *Power plants and technologies*. 2017;3(4): 130–145. (In Russian).

## AUTHORS

### Victor V. Belenko

Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia  
Department of Space Monitoring and Ecology, Faculty of Cartography  
Dr. of Sci. (Engineering), Professor

 0000-0002-7159-7428

### Arina V. Novochadova

 arinanova@rambler.ru

Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia  
Department of Cartography, Faculty of Cartography

Submitted: April 28, 2025. Accepted: June 23, 2025. Published: June 27, 2025.