

TEXNİKA ELMLƏRİ

TECHNICAL SCIENCES

DOI: <https://doi.org/10.36719/2789-6919/52/111-117>

Сачлы Ганиева

Азербайджанский Архитектурно-Строительный Университет
доктор философии по физико-математическим наукам
<https://orcid.org/0000-0001-7495-2758>
s.ganiyeva@hotmail.com

Джавахир Тунджа

Азербайджанский Архитектурно-Строительный Университет
докторант
<https://orcid.org/0009-0002-6045-4517>
cevahir.oa@gmail.com

Метод дистанционного зондирования в изучении морских и океанских вод

Резюмэ

Дистанционное зондирование играет важную роль в современных океанографических исследованиях, обеспечивая непрерывные, крупномасштабные и долгосрочные наблюдения за поверхностью морей и океанов. В данной статье рассматриваются принципы, методы и области применения дистанционного зондирования в исследованиях морской среды. Используя данные оптических, инфракрасных, микроволновых и радиолокационных датчиков, дистанционное зондирование измеряет ключевые параметры океана, такие как температура поверхности моря, концентрация хлорофилла, высота поверхности моря, соленость и поля поверхностного ветра. Эти наблюдения имеют основополагающее значение для понимания циркуляции океана, изменчивости климата, динамики экосистем и прибрежных процессов. Спутниковые миссии, такие как MODIS, Sentinel и Jason, создали согласованные глобальные наборы данных, которые поддерживают мониторинг повышения уровня моря, загрязнения морской среды, цветения водорослей и переноса отложений. Интеграция данных дистанционного зондирования с натурными измерениями и численными моделями повышает точность океанических прогнозов и экологических оценок. В данном исследовании подчеркиваются преимущества дистанционного зондирования для морской науки и рассматриваются его ограничения, включая атмосферные помехи, ограничения по глубине и алгоритмические неопределенности. В целом, дистанционное зондирование является незаменимым инструментом для устойчивого управления океаном и углубления нашего понимания морских систем Земли.

Ключевые слова: динамики экосистемы, повышения уровня моря, океанические прогнозы, морская вода, поверхности моря, уровень моря

Saçlı Qəniyeva

Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universiteti

fizika və riyaziyyat üzrə fəlsəfə doktoru

<https://orcid.org/0000-0001-7495-2758>

s.ganiyeva@hotmail.com

Cəvahir Tunca

Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universiteti

doktorant

<https://orcid.org/0009-0002-6045-4517>

cevahir.oa@gmail.com

Dəniz və okean sularının tədqiqində uzaqdan zondlama metodları

Xülasə

Məsafədən zondlama müasir okeanoqrafik tədqiqatlarda mühüm rol oynayır və dənizlərin və okeanların səthinin davamlı, genişmiqyaslı və uzunmüddəti müşahidələrini təmin edir. Bu məqalədə dəniz ətraf mühit tədqiqatlarında məsafədən zondlamanın prinsipləri, metodları və tətbiqləri araşdırılır. Optik, infraqırmızı, mikrodalğalı və radar sensorlarından əldə edilən məlumatlardan istifadə edərək məsafədən zondlama dəniz səthinin temperaturu, xlorofil konsentrasiyası, dəniz səthinin hündürlüyü, duzlu luq və səth külək sahələri kimi əsas okean parametrlərini ölçür. Bu müşahidələr okean dövranını, iqlim dəyişkənliyini, ekosistem dinamikasını və sahil proseslərini anlamaq üçün əsasdır. MODIS, Sentinel və Jason kimi peyk missiyaları dəniz səviyyəsinin qalxmasını, dəniz çirkənməsini, yosun çiçəklənməsini və çöküntü daşınmasını dəstəkləyən ardıcıl qlobal məlumat dəstləri yaratmışdır. Məsafədən zondlama məlumatlarının yerində ölçmələr və ədədi modellərlə integrasiyası okean proqnozlarının və ətraf mühit qiymətləndirmələrinin dəqiqliyini artırır. Bu tədqiqat məsafədən zondlamanın dəniz elmi üçün faydalarını vurğulayır və atmosfer müdaxiləsi, dərinlik məhdudiyyətləri və alqoritmik qeyri-müəyyənliklər də daxil olmaqla məhdudiyyətlərini araşdırır. Ümumiyyətlə, məsafədən zondlama davamlı okean idarəetməsi və Yer kürəsinin dəniz sistemləri haqqında anlayışımızı inkişaf etdirmək üçün əvəzolunmaz bir vasitədir.

Açar sözlər: ekosistem dinamikası, dəniz səviyyəsinin qalxması, okean proqnozları, dəniz suyu, dəniz səthi, dəniz səviyyəsi

Sachly Ganieva

Azerbaijan Architectural and Construction University

PhD in physical and mathematical sciences

s.ganiyeva@hotmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-7495-2758>

Javahir Tunja

Azerbaijan Architectural and Construction University

PhD student

cevahir.oa@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0002-6045-4517>

Remote Sensing Method and Marine and Ocean Water Study

Abstract

Remote sensing plays a vital role in modern oceanographic research, providing continuous, large-scale, and long-term observations of the surface of seas and oceans. This article examines the principles, methods, and applications of remote sensing in marine environmental studies. Using data from optical, infrared, microwave, and radar sensors, remote sensing measures key ocean parameters such as sea surface temperature, chlorophyll concentration, sea surface height, salinity, and surface

wind fields. These observations are fundamental for understanding ocean circulation, climate variability, ecosystem dynamics, and coastal processes. Satellite missions such as MODIS, Sentinel, and Jason have created consistent global datasets that support the monitoring of sea level rise, marine pollution, algal blooms, and sediment transport. Integrating remote sensing data with in situ measurements and numerical models improves the accuracy of ocean forecasts and environmental assessments. This study highlights the benefits of remote sensing for marine science and examines its limitations, including atmospheric interference, depth limitations, and algorithmic uncertainties. Overall, remote sensing is an indispensable tool for sustainable ocean management and advancing our understanding of Earth's marine systems.

Keywords: *ecosystem dynamics, sea level rise, ocean forecasts, seawater, sea surface, sea level*

Введение

Водные ресурсы составляют более 70% поверхности Земли. Ранее водные ресурсы традиционно оценивались на основе батиметрической съемки, которая давала информацию о поверхности дна и впоследствии преобразовывалась в топографические планы и карты в аналоговом или цифровом виде. Создание трёхмерных моделей требует больших ресурсов, они позволяют существенно повысить эффективность различных пространственно-планировочных решений, в частности: мониторинг и выявление возможных изменений рельефа и структуры морского дна, изучение различных процессов, связанных с опасными природными явлениями, использование информации о рельефе и характеристиках морского дна для принятия проектных решений.

В зависимости от применяемых инструментов и приборов, сегодня существует ряд методов проведения батиметрической съёмки:

- механический, с использованием ручных галсов и маркеров;
- гидроакустический, однолучевой и многолучевой эхолот;
- фотограмметрический, с использованием цифровых камер;
- воздушное лазерное сканирование с использованием лидаров, получающих изображения в зелёном спектре.
- фотограмметрический, с использованием цифровых камер;
- воздушное лазерное сканирование с использованием лидаров, получающих изображения в зелёном спектре.

Выбор метода во многом зависит от важности объекта, требований технического задания на съёмку и финансовых возможностей.

Однако существуют нестандартные ситуации, когда применение вышеперечисленных методов батиметрических измерений затруднено или невозможно. К таким ограничениям относятся: расположение объекта в приграничной зоне, мелководье, густой растительный покров, непрозрачность воды. Сезонные и погодные колебания уровня воды в чрезвычайно мелководных бассейнах могут вызвать значительные изменения как в водных ресурсах, так и в состоянии береговой линии. В данном случае использование данных дистанционного зондирования Земли представляется перспективным. Поскольку береговая линия может быть достаточно точно и быстро определена по спутниковым снимкам, при наличии готовой цифровой модели рельефа (ЦМР) местности, включая дно изучаемого объекта, может быть получен достаточный материал для мониторинга водных ресурсов.

Однако с развитием топографии и геодезии появились возможности повышения как наглядности, так и точности материалов. Кроме того, стало возможным использовать комбинации методов измерений для решения задачи определения объема воды на труднодоступных объектах, таких как океаны, моря, морские побережья, озера, реки и русла рек, водно-болотные угодья, затапливаемые, непроходимые территории и т. д. В этих условиях возможно применение метода дистанционного зондирования, опирающегося на данные о рельефе местности.

Исследование

Спутники обеспечивают почти глобальное покрытие поверхности океана по регулярному графику, заполняя обширные пространственно-временные пробелы, которые не могут быть покрыты исключительно локальными наблюдениями (с кораблей, буев и глиссеров). Это делает дистанционное зондирование незаменимым для крупномасштабного и долгосрочного мониторинга океана.

Непрерывные спутниковые миссии (например, серии TOPEX/Poseidon → Jason) предоставили данные за несколько десятилетий, которые используются для мониторинга повышения уровня моря и изменчивости климата (Михайлов, 2011). Эти данные, охватывающие несколько десятилетий, играют ключевую роль в климатических исследованиях.

Спутники позволяют в режиме, близком к реальному времени, картографировать такие явления, как разливы нефти, вредные цветения водорослей (НВ) и экстремальное потепление (морские тепловые волны), что помогает в реагировании на чрезвычайные ситуации и управлении ими (Королькова, et.al, 2025).

Один из наиболее зрелых спутниковых продуктов — измерения, проводимые инфракрасными и микроволновыми датчиками — используется для прогнозирования погоды/океана, мониторинга климата и изучения экосистем (Чандра, et.al, 2008). Мультиспектральные датчики (MODIS, VIIRS, OLCI и будущий PACE) измеряют цвет океана для оценки биомассы и продуктивности фитопланктона и обнаружения цветения. Они необходимы для исследования экосистем и рыбного хозяйства.

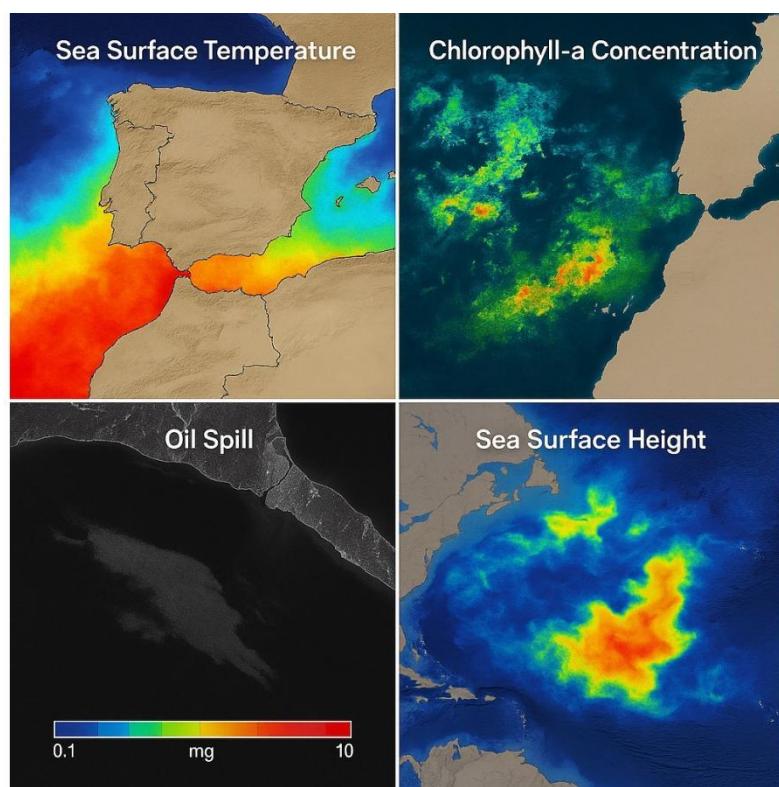


Рисунок 1. Параметры морской среды по данным спутникового зондирования

Радиолокационные альтиметры (серия Jason, Sentinel-6 и другие) измеряют топографию океана, течения и тенденции изменения среднего глобального уровня моря. Микроволновые радиометры (SMOS, SMAP) оценивают соленость поверхности, что важно для понимания образования, циркуляции и изменения климата водных масс (Хабарова, et.al, 2018). Рассеивающие измерители и альтиметры определяют скорость/направление ветра и

значительную высоту волн; отслеживание цвета океана или характеристик SST может выявить поверхностные течения и мезомасштабные вихри.

SAR и оптические датчики картографируют площадь и толщину морского льда, а также береговые линии или батиметрию (в мелких, прозрачных водах). Данные о температуре поверхности моря (SST), уровне моря (SSH), смещении уровня моря (SSS) и теплосодержании океана (OCS), полученные с помощью космических аппаратов, имеют основополагающее значение для количественной оценки глобального потепления, повышения уровня моря и крупномасштабных изменений в циркуляции океана (Сизов, et.al, 2018).

Карты цвета океана и SST помогают определять продуктивные фронты, места цветения и условия обитания, которые используются для управления рыболовством и мониторинга биоразнообразия (Михайлов, 2011). Мультиспектральные спутники (например, Sentinel-2/3, MODIS, VIIRS) регулярно используются для обнаружения и картографирования цветения, обеспечивая раннее предупреждение о воздействии на здоровье населения и аквакультуру (Сутина & Королев, 2021).

Оптические и SAR-датчики обнаруживают нефтяные пятна на поверхности; в сочетании с моделями и полями ветра они помогают отслеживать распространение загрязняющих веществ и проводить очистку (Шибанов & Папкова, 2022). С другой стороны, для оценки времени существования ЭГ можно использовать данные дистанционного зондирования, полученные квазисинхронно, которые показали такое же нефтепроявление – это позволяет более реалистично определить время его существования.

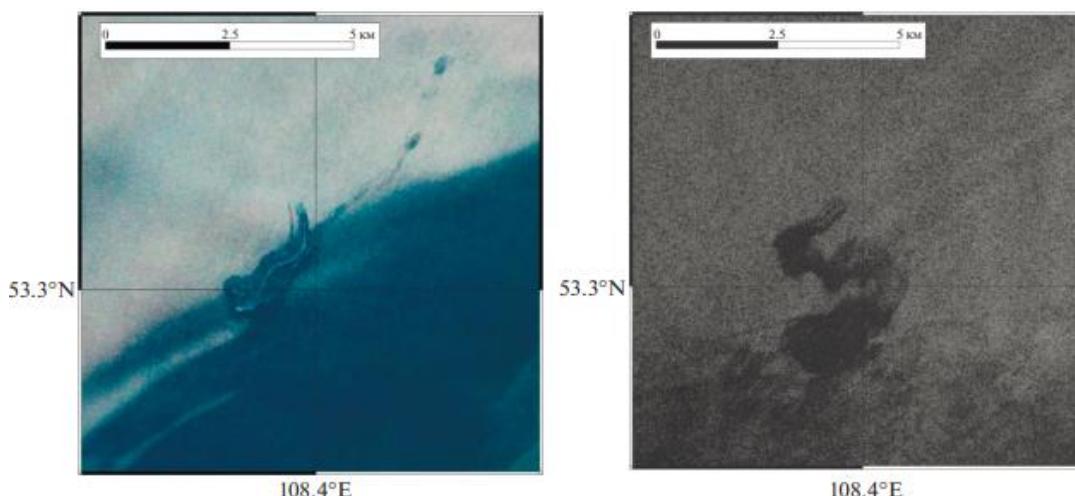


Рисунок 2. Нефтепроявление в оз. Байкал, обнаруженное двумя космическими системами: слева – оптический снимок спутника Sentinel-2, справа – радиолокационное изображение Sentinel-1

Спутниковые данные интегрируются в океанические модели для улучшения прогнозов течений, волн и прибрежных условий, используемых в судоходстве, поисково-спасательных операциях и планировании возобновляемых источников энергии (Маргалитадзе, и др., 2019). Управление прибрежными зонами и реагирование на чрезвычайные ситуации. Оптические данные высокого разрешения и данные SAR используются для отслеживания изменений береговой линии, картографирования батиметрии мелководья, мониторинга наводнений и реагирования на стихийные бедствия (штормовые нагоны, береговая эрозия) (Мытник, et.al, 2015).

Преобразование измеренной отражательной способности (цвета океана) в содержание хлорофилла, взвешенные вещества и прозрачность воды с помощью эмпирических или полуаналитических алгоритмов (Джафарова, 2017). Перенос излучения и атмосферная коррекция. Устранение атмосферных эффектов необходимо для точного определения цвета океана и SST; это критически важный этап предварительной обработки (Спивак, et.al, 2004).

Объединение спутниковых наблюдений с измерениями на месте и численными моделями улучшает оценки течений, температур и других параметров для прогнозирования и исследований (Гулиева, et.al, 2018). Контроль качества и отчетность по неопределенствам: всегда проверяйте флаги продуктов, маски облаков и оценки погрешностей; проверяйте алгоритмы на региональном уровне с помощью полевых образцов.

Заключение

Результаты исследования показывают, что методы дистанционного зондирования предоставляют надежные и исчерпывающие данные для анализа физических, химических и биологических характеристик морских и океанских вод. Измерения температуры поверхности моря (SST), полученные с помощью спутников, показали высокую корреляцию с натурными наблюдениями, что подтверждает их точность для мониторинга тепловых колебаний и обнаружения зон апвеллинга. Анализ цвета океана по изображениям MODIS и Sentinel-3 OLCI выявил пространственные закономерности концентрации хлорофилла-а, указывающие на регионы с высокой биологической продуктивностью и районы, подверженные эвтрофикации. Данные радиолокационной альtimетрии, полученные в ходе миссий Jason и Sentinel-6, позволили оценить аномалии высоты поверхности моря, что помогло в оценке глобальных и региональных изменений уровня моря. Результаты микроволновой радиометрии предоставили полезную информацию о солености поверхности моря, особенно в районах открытого океана, где наземные измерения ограничены. Изображения синтетического радарного апертурного радара (SAR) эффективно идентифицировали разливы нефти, изменения шероховатости поверхности и динамику прибрежных отложений, особенно в облачных условиях или в ночное время.

Комплексный анализ, сочетающий оптические, радиолокационные и тепловые данные, улучшил обнаружение океанических фронтов, вихрей и течений. Объединение данных дистанционного зондирования с численными океаническими моделями повысило точность краткосрочных прогнозов циркуляции и температурных режимов. Проверка с помощью полевых проб показала, что средняя погрешность продуктов, полученных на основе спутниковых данных о хлорофилле-а и температуре поверхности моря, оставалась в пределах приемлемых научных ограничений ($\pm 10-15\%$). В целом, результаты подтверждают, что дистанционное зондирование обеспечивает экономически эффективный, последовательный и масштабируемый подход к наблюдению за морской средой, позволяя лучше понимать океанические процессы и способствуя эффективному управлению морскими ресурсами.

Литература

1. Чандра, А.М., Гош, С.К. (2008). *Дистанционное зондирование и географические информационные системы*. Техносфера.
2. Джафарова, Н.Р. (2017). Аэрокосмический мониторинг прибрежных территорий для экологического и социально-экономического картографирования. «Творчество молодежи в решении аэрокосмических задач», Февральские чтения, НАА, 12-14 февраля 2017 г., 114–118.
3. Хабарова, И.А., Хабаров, Д.А., Чугунов, В.А. (2018). Разработка методики лесотаксационного дешифрирования с использованием ГИС технологий по космическим снимкам. *Integral. Международный журнал прикладных наук и технологий*, (1).
4. Королькова, А.И., Иванов, А.А. (2025). Применение методов дистанционного зондирования для оценки мутности вод Авачинской губы. *Известия высших учебных заведений: Геология и геологоразведка*, 67(1), 95–104. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2025-67-1-95-104>
5. Гулиева, С.Х., Бадалова, А.Н., Исматова, Х.Р. (2018). Исследование и прогноз паводков и паводков на реке Куре с использованием космических снимков AZERSKY. *Материалы III*

научно-практической молодёжной конференции с международным участием, НАА, 12-14 февраля 2018, 114–118.

6. Маргалитадзе, О.Н., Горбунов, В.С. (2019). Особенности развития мировой экономики и внешнеэкономической деятельности в условиях глобализации и регионализации. Научный консультант.
7. Михайлов, С.И. (2011). Применение данных дистанционного зондирования Земли для решения задач в области сельскохозяйственного производства. *Земля из космоса*, (9), 17–23.
8. Мытник, Л.М., Трусенкова, О.А., Лобанов, В.Б. (2015). Дистанционное радиофизическое зондирование океана и атмосферы из космоса: достижения и перспективы (обзор). *Вестник ДВО РАН*, (6), 5–20.
9. Мустафин, М.Г., Вальков, В.А., Павлов, Н.С., Виноградов, К.П., Боголюбова, А.А. (2023). Мониторинг водных объектов дистанционными методами. *Вестник СГУГТ (Сибирский государственный университет геосистем и технологий)*, 28(2), 67–75.
10. Спивак, Л.Ф., Архипкин, О.П., Панкратов, В.С., Шагарова, Л.В., Сагатдинова, Г.Н. (2004). Технология мониторинга паводков и наводнений в Западном Казахстане. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*, 279–285.
11. Сизов, А.П., Хабаров, Д.А., Хабарова, И.А. (2018). Новые подходы к разработке методики формирования семантической информации мониторинга земель на основе обработки и анализа картографической информации. *Геодезия и аэрофотосъемка*, (4), 434–441.
12. Суэтин, В.С., Королев, С.Н. (2021). Использование спутниковых данных для определения характеристик поглощения света в водах Черного моря. *Морская гидрофизика*, 37(2), 222–232. DOI: 10.22449/0233-7584-2021-2-222-232
13. Шибанов, Е.Б., Папкова, А.С. (2022). Особенности работы алгоритмов атмосферной коррекции Ocean Color при расчёте спектрального коэффициента яркости моря для различных состояний атмосферы. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*, 19(6), 9–17.

Поступило: 05.08.2025

Принято: 14.11.2025