

Научно-практическая статья/Research article

УДК 528.9:553.98:528.8:550.834

<https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-3-96-107>

Картографическое обеспечение оценки перспектив нефтегазоносности по данным дистанционного зондирования Земли и морских сейсморазведочных работ

Д. С. Логинов^{1,2✉}, В. В. Беленко¹, Н. И. Баранова^{1,3}

¹ Московский государственный университет геодезии и картографии,
г. Москва, Российская Федерация

² ООО «Целевой Горизонт», г. Москва, Российская Федерация

³ Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт,
г. Москва, Российская Федерация

e-mail: loginov@geohorizon.ru

Аннотация. Статья посвящена методическим вопросам картографического обеспечения оценки перспектив нахождения углеводородных ресурсов в морских осадочных бассейнах с использованием данных дистанционного зондирования Земли из космоса и других пространственных данных. На примере восточной и западной части Андаманского глубоководного бассейна охарактеризован выбор мультиспектральных изображений с учетом метеорологических условий акватории исследования. Рассмотрены вопросы дешифрирования и картографического моделирования пространственного положения нефтепроявлений. Предложен и апробирован метод анализа происхождения нефтяных пятен по данным морской сейсморазведки, картографическим геосервисам морского судоходства, сеймотектоническим картам и батиметрическим данным открытого доступа. В результате системного картографического обеспечения анализа получены картографические материалы и набор изображений нефтяных пятен на космических снимках Sentinel-2, выделены и предложены перспективные районы для дальнейшего изучения на поисково-оценочном этапе геологоразведочных работ. Методические результаты иллюстрируют возможности системного картографического обеспечения при выполнении государственных программ недропользования с использованием космических снимков и тематических пространственных данных открытого пользования, рекомендованы при выполнении аналогичных задач в различных акваториях Мирового океана, в том числе на шельфе Российской Федерации.

Ключевые слова: Андаманский глубоководный бассейн, Бенгальский залив, естественные нефтепроявления, картографическое моделирование, картографическое обеспечение, мониторинг водных объектов, морская сейсморазведка, нефтяные загрязнения

Для цитирования:

Логинов Д. С., Беленко В. В., Баранова Н. И. Картографическое обеспечение оценки перспектив нефтегазоносности по данным дистанционного зондирования Земли и морских сейсморазведочных работ. *Вестник СГУГиТ*. 2026. Т. 31, № 3. С. 96–107. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-3-96-107>

Cartographic methods for assessing hydrocarbon prospectivity using remote sensing and marine seismic survey data

D. S. Loginov^{1,2✉}, V. V. Belenko¹, N. I. Baranova^{1,3}

¹ Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russian Federation

² LLC «Tselevoi Gorizont», Moscow, Russian Federation

³ All-Russian Research Geological Oil Institute, Moscow, Russian Federation

e-mail: loginov@geohorizon.ru

Abstract. The article addresses methodological issues of cartographic methods for assessing hydrocarbon resource prospectivity in marine sedimentary basins using satellite remote sensing and other spatial datasets. Using the eastern and western parts of the Andaman deepwater basin as a case study, the selection of multispectral imagery is characterized with consideration of the study area's meteorological and oceanographic conditions. Issues of interpretation and cartographic modelling of the spatial distribution of hydrocarbon manifestations are examined. A method for analyzing the origin of oil slicks by integrating marine seismic survey data, maritime geoservice data, seismotectonic maps, and open-access bathymetric datasets is proposed and tested. The systematic cartographic workflow produced mapped outputs and a catalogue of oil-slick detections on Sentinel-2 imagery, and identified priority targets for follow-up exploration and appraisal. The methodological findings demonstrate the capabilities of integrated cartographic support for implementing national subsurface resource programs using satellite imagery and thematic open-access spatial data, and are recommended for similar applications across different oceanic regions, including the continental shelf of the Russian Federation.

Keywords: Andaman deepwater basin, Bay of Bengal, natural hydrocarbon seeps, cartographic modeling, cartographic support, water body monitoring, marine seismic exploration, oil spills

For citation:

Loginov D. S., Belenko V. V., Baranova N. I. (2026). Cartographic methods for assessing hydrocarbon prospectivity using remote sensing and marine seismic survey data. *Vestnik SSUGiT [Vestnik SSUGIT]* Vol. 31, No. 3. pp. 96–107. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-3-96-107>

Введение

Проведение геологоразведочных работ (ГРП) на ранее неизученных территориях и акваториях – актуальная задача при восполнении минерально-сырьевой базы и реализации государственных программ недропользования. Одним из ключевых признаков наличия нефтяной системы в акваториях Мирового океана является наличие нефтяных пятен на морской поверхности. В контексте оценки перспектив нефтегазоносности особый интерес представляют естественные минеральные нефтепроявления – природные запасы углеводородов, характеризующиеся естественным низкоскоростным выходом жидкой или газообразной сырой нефти и гудрона в атмосферу и на поверхность Земли из-за условий низкого давления или потока [1]. Такие нефтепроявления появляются на морской по-

верхности в результате просачивания вдоль или поперек нефтегазоносных слоев через разломы и трещины в осадочных породах, непосредственно из обнажений нефтеносных слоев, а также в результате высвобождения из различных донных морфологических форм (грязевых вулканов, покмарков и т. д.) после повышения пластового давления. Известный факт обнаружения крупнейшего морского нефтяного месторождения Кантарелл в Мексиканском заливе по наличию нефтяных пятен на поверхности воды [2] позволяет рассчитывать на открытие шельфовых месторождений по результатам комплексного дешифрирования данных дистанционного зондирования Земли из космоса (ДЗЗ).

В настоящее время поиск нефтепроявлений осуществляется преимущественно путем экспертной оценки в результате визуального анализа космических изображений [1, 3–7].

Связано это с тем, что помимо естественных нефтепроявлений на поверхности морей и океанов в равной степени преобладают нефтяные пятна антропогенного и биогенного характера, которые по своим дешифровочным признакам мало отличаются между собой. Кроме того, преимущества дистанционных методов заключаются в скорости обнаружения загрязнений и меньших финансовых затратах, связанных с поддержанием оборудования и оплатой труда [8].

Вместе с тем системное картографическое обеспечение, направленное на познание аспектов окружающей действительности посредством создания и использования цифровых картографических и геоинформационных продуктов [9], способствует привлечению широкого спектра пространственных данных для картографического моделирования и повышения объективности оценки перспектив нефтегазоносности в отдаленных регионах и акваториях Мирового океана. Выполненные ранее исследования на западном побережье Индостана [10] показали эффективность разработанного технологического решения картографического моделирования перспектив нефтегазоносности в условиях высокоинтенсивного морского судоходства. В настоящей статье представляется необходимым выполнить системное картографическое обеспечение соответствующей оценки на примере Андаманского глубоководного осадочного бассейна как акватории с высоким уровнем сейсмичности.

Цель настоящего исследования – системное картографическое обеспечение оценки перспектив нефтегазоносности. Задачи: 1) картографическое моделирование пространственного положения нефтепроявлений различного генезиса по комплексу данных ДЗЗ, геолого-геофизических и других данных из открытых источников; 2) уточнение происхождения потенциально минеральных нефтепроявлений; 3) составление итоговой карты рекомендаций на проведение поисково-оценочного этапа геологоразведочных работ.

Материалы и методы

В основу работы положены теоретические и методологические исследования авторов в области системного картографического обеспечения научно-технической деятельности [9], анализа дистанционных методов обнару-

жения и исследования нефтяных загрязнений водных объектов [8], оценки перспектив нефтегазоносности по данным ДЗЗ из космоса и морских сейсморазведочных работ [10].

Основными источниками для картографического обеспечения оценки перспектив нефтегазоносности служат данные мультиспектральной съемки Sentinel-2. Указанный тип данных ДЗЗ из космоса доказал свою состоятельность при выполнении аналогичных исследований в западной континентальной окраине шельфа полуострова Индостан [10], в Яванском море [11], в Персидском заливе [12] и других регионах мира. Материалы о судоходстве, метеорологических параметрах и другие данные получены из открытых источников. Результаты интерпретации материалов региональной морской сейсморазведки методом общей глубинной точки (МОГТ 2D), выполненной в рамках Морской Андаманской программы сейсморазведки (2021–2023 гг.), представлены ООО «Целевой Горизонт».

Акватория исследования – Андаманский осадочный бассейн, расположенный в юго-восточной части Бенгальского залива в непосредственной близости от нефтегазоносного пояса Юго-Восточной Азии. Бассейн разделен на восточную и западную части островными дугами Андаманских и Никобарских островов и составляет большую часть не оцененной площади морских осадочных бассейнов Индии. По данным DGH (англ. Directorate General Hydrocarbons) (<https://dghindia.gov.in/assets/downloads/ar/2022-23.pdf>), коммерческие залежи углеводородов обнаружены в среднемиоценовом пласте, географически расположенном в восточной части Андаманского бассейна.

Выбор данных ДЗЗ

Информативность данных ДЗЗ напрямую зависит от сезона проведения съемки. Применительно к текущей задаче выбор временного диапазона осуществлялся с учетом метеорологических условий акватории картографирования. Оценка показателей скорости ветра, направления и скорости течений выполнялась по исследованиям [13–16] и по открытым метеорологическим данным геопортала Meteo-blue (<https://www.meteoblue.com/>). Определено, что диапазон скорости ветра 4–5 м/с (14,4–18 км/ч), предпочтительный для уве-

ренного дешифрирования нефтяных пятен как длинных и часто изогнутых или спиральных полос [17], наступает в акватории картографирования с февраля по апрель. В этот период наблюдается минимальная облачность и достаточная скорость ветра (10–20 км/ч), направление которого преимущественно северо-восточное и юго-западное [18].

Через портал EarthExplorer (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) были получены 52 разновременных снимка Sentinel-2 (с ноября 2022 г. данные доступны только у официального дистрибьютора). На карте видно (рис. 1), что акватория исследования не покрыта полностью данными Sentinel-2, тем не менее, имеющиеся материалы позволяют выполнить дешифрирование в пределах большей части акватории исследования.

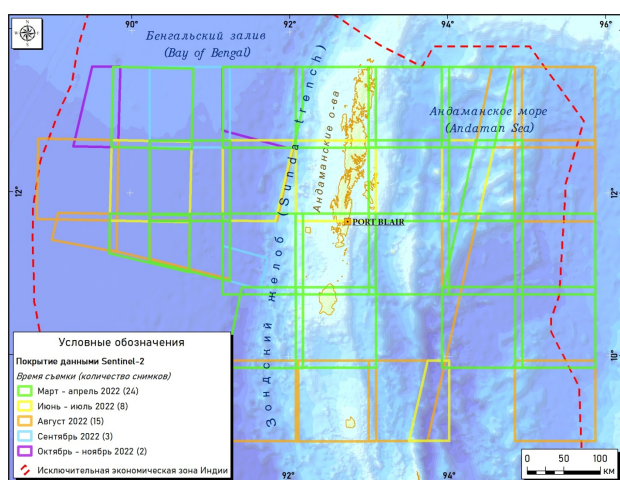


Рис. 1. Карта изученности данными Sentinel-2 на март – ноябрь 2022 г. (фоновая картографическая основа – данные GEBCO)

Дешифрирование нефтепроявлений и анализ их происхождения

Дешифрирование и оконтуривание нефтепроявлений природного и антропогенного характера выполнено на основе визуальных свойств нефтепроявлений, таких как форма и контраст между объектом и окружающим морем. Выбор метода обусловлен тем, что автоматизированные методы распознавания естественных нефтепроявлений и таких природных явлений, как апвеллинг, дождевые ячейки и др. пока находятся в стадии тестирования [19]. Тем не менее, в число ключевых

признаков дешифрирования входит группирование темных пятен линейной формы (или круглой – для вновь всплывшей нефти), в том числе протяженных на десятки километров, имеющих форму запятых, зигзагов или петель [1, 3–7].

По результатам дешифрирования обнаружено 72 потенциальных нефтяных пятна в восточной части и 34 пятна в западной части акватории исследования. Положение 34 % пятен хорошо коррелируется с открытыми данными о морском судоходстве (<https://www.marinetraffic.com/>), что в сочетании с основными дешифровочными признаками (светлая точка отражения солнечного света от металлического корпуса танкера и темный линейный след от смеси отработанного топлива и турбулентного следа от движения судна) указывает на их антропогенное происхождение. Восточный район имеет минимальное влияние мировых судоходных путей – только северо-восточная часть является основным маршрутом для танкеров и других крупногабаритных судов (рис. 2). Западную часть акватории затрагивает морской путь из Вишакхапатнама (одного из крупнейших портов Индии) в Малаккский пролив с северо-запада на юго-восток.

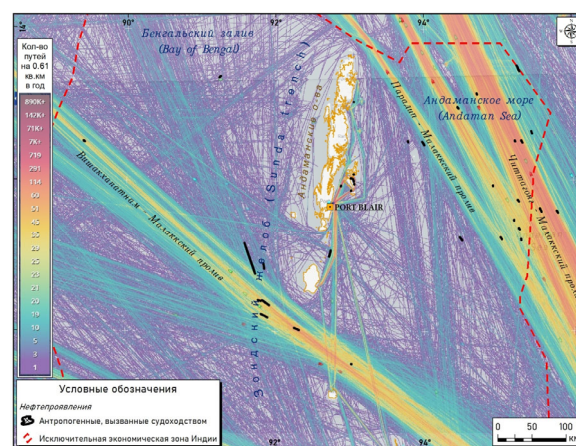


Рис. 2. Сопоставление траекторий морского судоходства и положения обнаруженных антропогенных нефтяных пятен (фоновая картографическая основа – данные Marine Traffic)

Для остальных 66 % объектов определение биогенного и минерального происжде-

ния выполнялось по батиметрическим и геолого-геофизическим данным. Так, по данным Генеральной батиметрической карты океанов (GEBCO) установлено, что почти вся акватория, особенно ее западная часть, практически изолирована на глубинах более 3 000 м. Учитывая, что шельф Андаманского моря и Бенгальского залива относится к очагам формирования самых низких концентраций кислорода [20], в которых состав ихтиофауны на глубинах более 200 м очень ограничен и не представляет интереса для рыболовства [21], происхождение нефтепроявлений не является результатом разложения планктона, живых организмов и других биохимических реакций, т. е. биогенные нефтепроявления не ожидаются.

Акватория исследования находится в зоне интенсивной сейсмической активности. По данным Геологической службы Индии (<https://bhukosh.gsi.gov.in/>), очаги зарегистрированных землетрясений различной амплитуды в западной части акватории исследования преимущественно расположены к востоку от зоны субдукции (Зондский желоб – Sunda Trench) и приурочены к континентальной части коры (рис. 3). В восточной части акватории пояс очагов землетрясений относится к трансформной границе между Бирманской (Burma plate) и Зондской плитами (Sunda plate). Таким образом, повышенная сейсмичность может приводить к развитию системы разломов и трещин в осадочных породах, через которые углеводороды могут просачиваться вдоль или поперек нефтегазоносных пластов и непосредственно из обнажений нефтеносных пластов, а также выделяться из различных донных морфологических форм вследствие повышения пластового давления.

В этой связи для уточнения взаимосвязи нефтяных пятен с геологическими структурами, потенциально выступающими в качестве коллекторов углеводородов, требуются интерпретированные временные сейсмические разрезы (изображения сейсморазведочных данных на плоскости в координатах «расстояние вдоль профиля» – «время отражения по нормали»), поскольку по конфигурации и положению сейсмических границ вследствие различных акустических свойств пластов горных пород можно оценить распреде-

ление источников питания и путей миграции нефтепроявлений на поверхность моря.

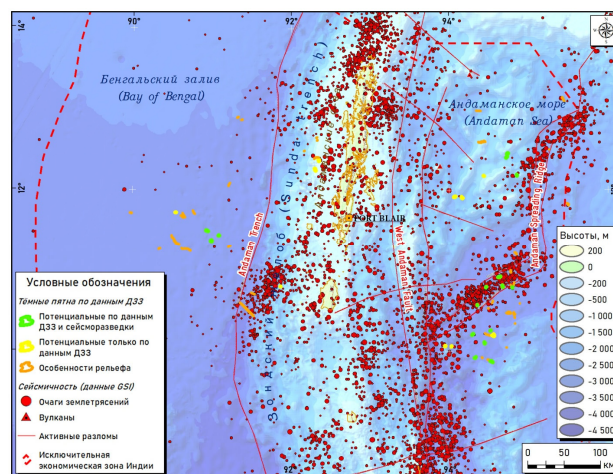


Рис. 3. Сопоставление положения неантропогенных нефтепроявлений с батиметрическими и сеймотектоническими данными из открытых источников

Анализ данных морской сейсморазведки

Для применения технологических решений комплексного анализа сейсморазведочных данных и результатов дешифрирования данных ДЗЗ [10] на временных сейсмических разрезах использовалась особая цветовая палитра, визуально повышающая резкость изменения амплитуд отраженных волн (метод «яркого пятна» – bright spot). В случаях обнаружения таких пятен соответствующее нефтепроявление классифицировалось как потенциально минеральное по данным ДЗЗ и сейсморазведки. Если минеральное происхождение объекта не подтверждалось (отсутствуют высокоамплитудные структуры и видна слабая система разломов и трещин), нефтепроявления классифицировались как особенности рельефа. При отсутствии сейсмических данных вблизи нефтепроявлений, которые по своим дешифровочным признакам заслуживают внимания, соответствующие нефтяные пятна классифицировались как потенциальные только по данным ДЗЗ. Учитывались и другие косвенные признаки наличия углеводородов – следы на морском дне, грязевые вулканы [22], следы вертикальной миграции

(в том числе «газовые трубы» – gas chimney), присутствие газовых гидратов [23].

Результаты

В результате 16 объектов в восточной части акватории исследования и 3 объекта

в западной (18 % от общего числа всех зарегистрированных нефтепроявлений) были классифицированы как потенциально минеральные (рис. 4). Большая часть заслуживающих внимания объектов представлена в восточной части акватории исследований.

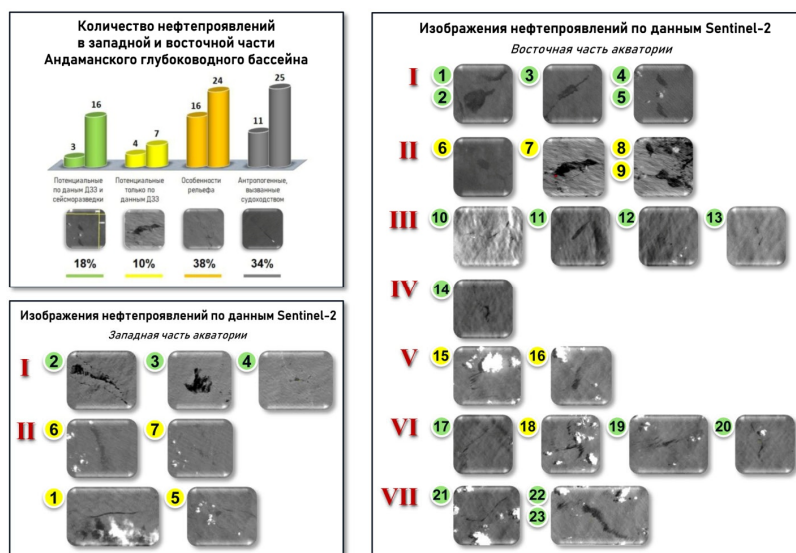


Рис. 4. Изображения нефтепроявлений по данным Sentinel-2 и статистическое распределение по западной и восточной части акватории исследования

По своей локализации нефтепроявления образуют семь зон, в пределах которых они равноудалены в среднем на 15 км (таблица).

Характеристика выявленных групп естественных минеральных нефтепроявлений

Зоны	Количество объектов	Средняя площадь объекта, км ²	Среднее расстояние между объектами, км	Средняя глубина моря, м	Преобладающий класс нефтепроявлений
Восточная часть акватории исследования (Андаманское море)					
I	5	0,34	18,6	1 120	Потенциальные по данным ДЗЗ и сейсморазведки
II	3	0,52	7,0	1 692	Потенциальные только по данным ДЗЗ
III	4	0,27	21,1	3 205	Потенциальные по данным ДЗЗ и сейсморазведки
IV	1	0,09	-	3 419	Потенциальные по данным ДЗЗ и сейсморазведки
V	2	0,29	8,0	2 931	Потенциальные только по данным ДЗЗ
VI	4	0,48	19,5	3 155	Потенциальные по данным ДЗЗ и сейсморазведки
VII	3	0,32	15,3	2 935	Потенциальные по данным ДЗЗ и сейсморазведки
Западная часть акватории исследования (Бенгальский залив)					
I	3	0,97	15,0	3 304	Потенциальные по данным ДЗЗ и сейсморазведки
II	2	0,31	14,3	125	Потенциальные только по данным ДЗЗ

Одна из таких зон (зона III) зафиксирована на одиночных космических снимках в районе с высокой интенсивностью землетрясений, связанных с осью активного спрединга Бирманской и Зондской плит. Северный объект № 10 этой зоны представляет собой тонкий след, конфигурация которого соответствует изменению течения и приповерхностного ветра. На соответствующем сейсмическом разрезе наблюдается хорошо развитая система разломов и трещин (рис. 5, а – на последующих рисунках разломы показаны красными линиями, проекция нефтепроявления – зеленой заливкой), через которые могут дренировать углеводороды. Несмотря на то что объект-коллектор плохо распознается, район рекомендуется для даль-

нейшего изучения, поскольку очаги последних землетрясений магнитудой 5,45 и 5,195 были зарегистрированы вблизи объектов в 1984 г. на глубине 15–16 км.

Западный объект № 11 зоны III представляет собой контрастное пятно с рябью, характерное для нефтяных разливов. Оно возникло над системой разломов и трещин, которые соединены с потенциальным резервуаром (рис. 5, б). Примечательно, что последнее зарегистрированное землетрясение наблюдалось в 2009 г. магнитудой 4,685, очаг располагался на глубине 15,5 км. Таким образом, зафиксированное нефтепроявление может повториться в большем масштабе в случае нового сейсмического события.

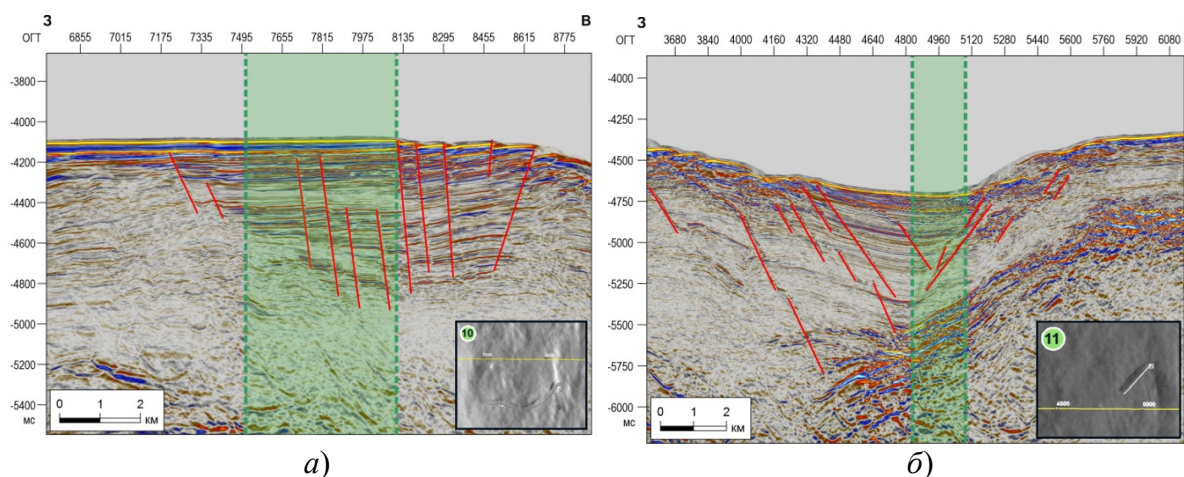


Рис. 5. Сейсмическое изображение и дистанционный образ:
а) объекта № 10; б) объекта № 11

Группы потенциально минеральных нефтепроявлений менее представительны на западной части акватории исследования. Тем не менее заслуживают внимания два темных пятна неправильной формы, которые четко дешифрируются среди удаленных неглубоких линеаментов и небольших облачных теней в глубоководной части Андаманского бассейна. Проекция этих объектов на меридиональный сейсмический профиль (рис. 6) располагается непосредственно над выходами вертикальных разломов, начало которых находится в достаточно плотных напластованиях. Несмотря на отсутствие «ярких пятен» на разрезе, эта зона представляет интерес, в том числе из-за фиксирования в 2005 г. очага землетрясения

магнитудой 4,515 на глубине 33 км, редкого для этой части океанической коры.

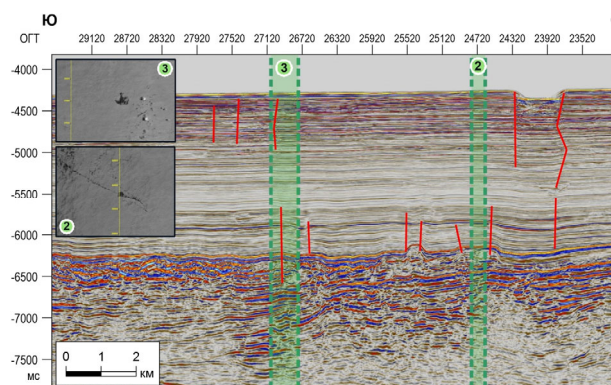


Рис. 6. Проекция объектов № 2 и № 3 на временной сейсмический разрез

По результатам картографического обеспечения оценки перспектив нефтегазоносности составлена карта расположения 106 нефтепроявлений различного происхождения (рис. 7).

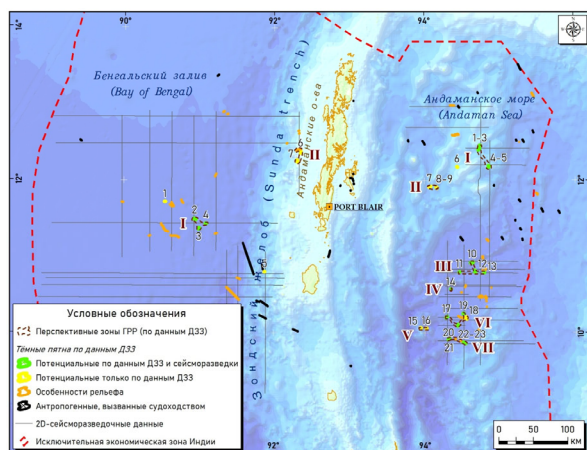


Рис. 7. Карта положения естественных и антропогенных нефтепроявлений в Андаманском глубоководном осадочном бассейне

Обсуждение

Результаты исследования подтвердили наличие в акватории Андаманского осадочного бассейна нефтепроявлений, чьи дешифровочные признаки указывают на их естественное происхождение. Большая часть потенциальных минеральных нефтепроявлений располагается в восточной части акватории исследования – непосредственно на шельфе Андаманского моря в исключительной экономической зоне Индии. Доступные сейсморазведочные данные подтвердили перспективность целого ряда темных пятен по наличию высокоамплитудных объектов и распознанной системы разломов на временных сейсмических разрезах. С точки зрения интерпретации геофизических данных выделенные зоны свидетельствуют о нефтегазоносности восточной части исследуемой акватории и представляют собой интерес для последующих изысканий.

Однако косвенные признаки в виде темных пятен на космических снимках наблюдаются не только вследствие наличия нефтяной системы, но и в результате активизации ис-

точников углеводородов в соответствующей геодинамической обстановке. Так, в условиях повышенной сейсмичности восточной части акватории исследования нефтегазоотводящие структуры на дне моря, через которые углеводороды поступают или просачиваются на поверхность дна [24], могут прекращать свою деятельность на некоторое время, а затем вновь появляться. Учитывая отсутствие на момент исследования источников техногенного загрязнения (действующих скважин глубокого бурения), можно утверждать, что сейсмичность недр является главным природным фактором, провоцирующим появление нефтяных пятен на морской поверхности. В этой связи для полной оценки требуется дальнейший мониторинг акватории и картографирование очагов появления нефтяных пятен для определения их связи с метеорологическими сезонами, тектонической обстановкой и другими факторами.

Ограничения текущих результатов также связаны с физическими основами процесса всплытия сырой нефти и распространения на поверхности моря в виде нефтяных пятен [25]. Положение нефтяных пятен зависит от многих факторов, в число которых входит дрейф под действием ветра и течений, подверженность окислению на поверхности моря и бактериальному разложению. В этой связи наличие больших глубин является негативным фактором, не позволяющим достоверно определить положение источника нефтепроявлений только по данным ДЗЗ.

Тем не менее реализация системного картографического обеспечения оценки перспектив нефтегазоносности по комплексу данных позволила разработать рекомендации на проведение поисково-оценочного бурения и высокоточной батиметрической съемки для изучения подводных морфологических особенностей в зонах I, III, IV, VI, VII, VIII на востоке акватории исследования и зон I, II на западной части. В случае положительных результатов следует учитывать большие риски последующей коммерческой эксплуатации недр Андаманского бассейна в сложной геодинамической обстановке. Актуальными станут исследования, направленные на прогнозирование последствий разливов нефти [16].

Заключение

В результате системного картографического обеспечения анализа получены картографические материалы и набор изображений нефтяных пятен на космических снимках Sentinel-2. Всего на площади 380 000 км² выявлено 19 нефтепроявлений, чье минеральное происхождение подтверждено по новым сейсморазведочным данным, полученным в рамках Морской Андаманской программы сейсморазведки (2021–2023 гг.). Неоднозначность перспектив Андаманского глубоководного бассейна обусловлена в первую очередь глубинами моря, а также наличием современной геодинамической ситуации в восточной части акватории исследования.

В методическом плане результаты исследования иллюстрируют возможности системного картографического обеспечения при вы-

полнении государственных программ недропользования с использованием космических снимков и тематических пространственных данных открытого пользования. Привлечение открытых данных о метеорологии, батиметрии, геологии акватории исследования позволяет выполнять картографическое моделирование положения нефтяных пятен, связанных не только с наличием нефтяной системы, но также с имеющимися экологическими проблемами, вызванными антропогенной нагрузкой вдоль основных морских путей сообщения.

Результаты исследования направлены на формирование рекомендаций по рациональному проведению поисково-оценочных ГРП в глубоководных осадочных бассейнах Мирового океана и могут быть использованы при реализации государственных программ недропользования на шельфе Российской Федерации.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Аэрокосмический мониторинг объектов нефтегазового комплекса. Под редакцией академика В. Г. Бондура. М.: Научный мир, 2012. 558 с.
2. Carvalho G. de A., Minnett P.J., Miranda F.P. de, Landau L., Moreira F. The Use of a RADARSAT-Derived Long-Term Dataset to Investigate the Sea Surface Expressions of Human-Related Oil Spills and Naturally Occurring Oil Seeps in Campeche Bay, Gulf of Mexico. *Canadian Journal of Remote Sensing*. 2016. V. 42(3). P. 307–321. DOI 10.1080/07038992.2016.1173532.
3. Иванов А. Ю., Матросова Е. Р., Кучейко А. Ю., Филимонова Н. А., Евтушенко Н. В., Терлеева Н. В., Либина Н. В. Поиск и обнаружение естественных нефтепроявлений в морях России по данным космической радиолокационной съемки. *Исследование Земли из космоса*. 2020. № 5. С. 43–62. DOI 10.31857/S0205961420050061.
4. Митягина М. И., Лаврова О. Ю. Выход естественных углеводородов со дна Каспийского моря в районе туркменского шельфа, выявленный по спутниковым данным. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2020. Т. 17. № 2. С. 292–298. DOI 10.21046/2070-7401-2020-17-2-292-298.
5. Alpers W., Holt B., Zeng K. Oil spill detection by imaging radars: Challenges and pitfalls. *Remote Sensing of Environment*. 2017. V. 201. P. 133–147. DOI 10.1016/j.rse.2017.09.002.
6. Caruso M. J., Migliaccio M., Hargrove J. T., Garcia-Pineda O., Graber H. C. Oil spills and slicks imaged by synthetic aperture radar. *Oceanography*. 2013. V. 26 (2). P. 112–123, <http://dx.doi.org/10.5670/oceanog.2013.34>.
7. Mazumder S., Saha K. K. Detection of offshore oil seepages using remote sensing. *Proceedings of the Society of Petroleum Geophysicist Conference*, 9–12 January 2006, Kolkata. Dehradun: Society of Petroleum Geophysicists. 2006. P. 1172–1178, https://spgindia.org/conference/6thconf_kolkata06/290.pdf.
8. 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. 8–25. DOI 10.30533/scidata-2025-16-01.

9. Логинов Д. С. Картографическое обеспечение как процесс: концептуальная модель системы и ее применение. *Геодезия и картография*. 2026. № 2. С. 10–22. DOI 10.22389/0016-7126-2026-1028-2-10-22.
10. Логинов Д. С. Дешифрирование нефтепроявлений и определение их происхождения с использованием данных морской сейсморазведки: на примере западной континентальной окраины Индии. *Геоинформатика*. 2024. № 1. С. 55–67. DOI 10.47148/1609-364X-2024-1-55-67.
11. Afgatiani P. M., Putri F. A., Suhadha A. G., Ibrahim A. Determination of Sentinel-2 spectral reflectance to detect oil spill on the sea surface. *Sustinere Journal of Environment and Sustainability*. 2020. V. 4. No. 3. P. 144–154. DOI 10.22515/sustinere.jes.v4i3.115.
12. Nezhad M. M., Groppi D., Laneve G., Marzioletti P. Oil Spill Detection Analyzing "Sentinel 2" Satellite Images: A Persian Gulf Case Study. 3rd World Congress on Civil, Structural, and Environmental Engineering (CSEE'18), Budapest, Hungary. 2018. 8 p. DOI 10.11159/awspt18.134.
13. Chandran S. T., Raj S. B., Ravindran S. et al. Upper layer circulation, hydrography, and biological response of the Andaman waters during winter monsoon based on in situ and satellite observations // *Ocean Dynamics*. 2018. V. 68. P. 801–815. DOI 10.1007/s10236-018-1160-x.
14. Jithin A. K., Francis P. A. Role of internal tide mixing in keeping the deep Andaman Sea warmer than the Bay of Bengal. *Scientific Reports*. 2020. V. 10 (11982). 10 p. DOI 10.1038/s41598-020-68708-6.
15. Magalhaes J., da Silva J. Internal Solitary Waves in the Andaman Sea: New Insights from SAR Imagery. *Remote Sensing*. 2018. V. 10(6), 861. 16 p. DOI 10.3390/rs10060861.
16. Singh S., Thattai D., Rangarajan S., Jaishree D. Oil spill risk assessment study for Andaman and Nicobar Islands, India // *The 11th National Conference on Mathematical Techniques and Applications*. 2019. V. 020026. 7 p. DOI 10.1063/1.5112211.
17. Mitra D. S., Majumdar T. J., Ramakrishnan R., Dave H., Mazumder S. Detection and monitoring of offshore oil seeps using ERS/ENVISAT SAR/ASAR data and seep-seismic studies in Krishna-Godavari offshore basin, India. *Geocarto International*. 2012. V. 28:5. P. 404–419. DOI 10.1080/10106049.2012.715207.
18. Naskar P. R. Statistical analysis of wind characteristics and wind energy potential of Port Blair, India // *MAUSAM*. 2021. Vol. 72. No. 2. P. 443–456. DOI 10.54302/mausam.v72i2.615.
19. Carvalho G. de A., Minnett P.J., Ebecken N.F.F., Landau L. Oil Spills or Look-Alikes? Classification Rank of Surface Ocean Slick Signatures in Satellite Data. *Remote Sensing*. 2021. Vol. 13, No. 3466. 30 p. DOI 10.3390/rs13173466.
20. Солдатов А. А. К природе развития естественных эндогенных гипоксических состояний у водных организмов. *Журнал общей биологии*. 2022. Т. 83. № 6. С. 450–461. DOI 10.31857/S0044459622060070.
21. Karuppasamy P. K., Lalu Raj C. M., Muralledharan K. R., Maheswari N. Myctophid and pelagic shrimp assemblages in the oxygen minimum zone of the Andaman Sea during the winter monsoon. *Indian Journal of Geo-Marine Sciences*. 2011. V. 40(4). P. 535–541.
22. Basu P., Verma R., Paul R., Viswanath K. Mud volcanoes in deep water of Andaman Forearc Basin. 9th Biennial International Conference & Exposition on Petroleum Geophysics, Hyderabad 2012. 7 p.
23. Prakash A., Samanta B. G., Singh N. P. Evidence of gas hydrate accumulation and its resource estimation in Andaman deep water basin from seismic and well log data. *Marine Geophysical Research*. 2012. V. 34. P. 1–16. DOI 10.1007/s11001-012-9163-3.
24. Etiope G. *Natural Gas Seepage: The Earth's hydrocarbon degassing*. Springer International Publishing. 2015. 199 p. DOI 10.1007/978-3-319-14601-0.
25. Bondur V. G. Aerospace methods and technologies for monitoring oil and gas areas and facilities. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. 2011. V. 47(9). P. 1007–1018. DOI 10.1134/s0001433811090039.

REFERENCES

1. Bondur, V. G. (Ed.) (2012). *Aerokosmicheskiy monitoring ob"yektov neftegazovogo kompleksa. Pod redaktsiyey akademika V. G. Bondura [Aerospace monitoring of objects of oil and gas facilities. Book editor by Valery G. Bondur]*. Moscow: Nauchnyy mir [in Russian].
2. Carvalho G. de A., Minnett P. J., Miranda F. P. de, Landau L., Moreira F. (2016). The Use of a RADARSAT-Derived Long-Term Dataset to Investigate the Sea Surface Expressions of Human-Related Oil Spills and Naturally Occurring Oil Seeps in Campeche Bay, Gulf of Mexico. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 42(3), pp. 307–321. DOI 10.1080/07038992.2016.1173532.
3. Ivanov A. Yu., Matrosova E. R., Kucheiko A. Yu., Filimonova N. A., Evtushenko N. V., Terleeva N. V., Libina N. V. (2020). Search and Detection of Natural Oil Seeps in the Russian Seas Using Spaceborne SAR Imagery. *Issledovanie Zemli iz Kosmosa [Earth Research From Space]*, No. 5, pp. 43–62. DOI 10.31857/S0205961420050061 [in Russian].
4. Mityagina M. I., Lavrova O. Yu. (2020). A point of petroleum hydrocarbons emission from the seabed in the Turkmenian shelf area of the Caspian Sea discovered via satellite data. *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa [Current problems in remote sensing of the Earth from Space]*, 17(2), pp. 292–298. DOI 10.21046/2070-7401-2020-17-2-292-298 [in Russian].
5. Alpers W., Holt B., Zeng K. (2017). Oil spill detection by imaging radars: Challenges and pitfalls. *Remote Sensing of Environment*, V. 201, pp. 133–147, DOI 10.1016/j.rse.2017.09.002.
6. Caruso M. J., Migliaccio M., Hargrove J. T., Garcia-Pineda O., Graber H. C. (2013). Oil spills and slicks imaged by synthetic aperture radar. *Oceanography*, 26(2), pp. 112–123. DOI 10.5670/oceanog.2013.34.
7. Mazumder S., Saha K. K. (2006). Detection of offshore oil seepages using remote sensing, Proceedings of the Society of Petroleum Geophysicist Conference, 9–12 January 2006, Kolkata. Dehradun: Society of Petroleum Geophysicists, pp. 1172–1178, https://spgindia.org/conference/6thconf_kolkata06/290.pdf
8. Belenko V. V., Novochadova A. V. (2025). Review of Remote Methods of Detection and Investigation of Oil Pollution of Water Bodies in the Russian Federation. *Prostranstvennyye dannyye: nauka i tekhnologii [Spatial Data: Science, Research and Technology]*, 16(1), pp. 8–26. DOI 10.30533/scidata-2025-16-01 [in Russian].
9. Loginov D. S. (2026) Cartographic support as a process: conceptual model of system and its application. *Geodesy and cartography*, 87(2), pp. 10–22. DOI 10.22389/0016-7126-2026-1028-2-10-22 [in Russian].
10. Loginov D. S. (2024). Interpretation and origin determination of oil seepages using marine seismic data: a case study of the Western Continental Margin of India. *Geoinformatika*. (1), pp. 55–67. DOI 10.47148/1609-364X-2024-1-55-67[in Russian].
11. Afgatiani P. M., Putri F. A., Suhadha A. G., Ibrahim A. (2020). Determination of Sentinel-2 spectral reflectance to detect oil spill on the sea surface. *Sustinere Journal of Environment and Sustainability*. Vol. 4, No. 3, pp. 144–154. DOI 10.22515/sustinere.jes.v4i3.115.
12. Nezhad M. M., Groppi D., Laneve G., Marzialetti P. (2018). Oil Spill Detection Analyzing "Sentinel 2" Satellite Images: A Persian Gulf Case Study, 3rd World Congress on Civil, Structural, and Environmental Engineering (CSEE'18), Budapest, Hungary, 8 p. DOI 10.11159/awspt18.134.
13. Chandran S. T., Raj S. B., Ravindran S. et al. (2018). Upper layer circulation, hydrography, and biological response of the Andaman waters during winter monsoon based on in situ and satellite observations. *Ocean Dynamics*. V. 68, pp. 801–815. DOI 10.1007/s10236-018-1160-x.
14. Jithin A. K., Francis P. A. (2020). Role of internal tide mixing in keeping the deep Andaman Sea warmer than the Bay of Bengal. *Scientific Reports*. V. 10 (11982), 10 p. DOI 10.1038/s41598-020-68708-6.
15. Magalhaes J., da Silva J. (2018). Internal Solitary Waves in the Andaman Sea: New Insights from SAR Imagery. *Remote Sensing*. Vol. 10(6), 861, 16 p. DOI 10.3390/rs10060861.

16. Singh S., Thattai D., Rangarajan S., Jaishree D. (2019). Oil spill risk assessment study for Andaman and Nicobar Islands, India. *The 11th National Conference on Mathematical Techniques and Applications*. V. 020026, 7 p. DOI 10.1063/1.5112211.
17. Mitra D. S., Majumdar T. J., Ramakrishnan R., Dave H., Mazumder S. (2012). Detection and monitoring of offshore oil seeps using ERS/ENVISAT SAR/ASAR data and seep-seismic studies in Krishna-Godavari offshore basin, India. *Geocarto International*. V. 28, No. 5, pp. 404–419. DOI 10.1080/10106049.2012.715207.
18. Naskar P. R. (2021). Statistical analysis of wind characteristics and wind energy potential of Port Blair, India. *MAUSAM*. Vol. 72. No. 2, pp. 443–456. DOI <https://doi.org/10.54302/mausam.v72i2.615>.
19. Carvalho G. de A., Minnett P. J., Ebecken N. F. F., Landau L. (2021). Oil Spills or Look-Alikes? Classification Rank of Surface Ocean Slick Signatures in Satellite Data. *Remote Sensing*. Vol. 13, No. 3466, 30 p. DOI 10.3390/rs13173466.
20. Soldatov A. A. (2022). To the nature of the development of endogenous hypoxic states in aquatic organisms. *Zhurnal obshchey biologii [Biology bulletin reviews]*. Vol. 83(6), pp. 450–461. DOI 10.31857/S0044459622060070 [in Russian].
21. Karuppasamy P. K., Lalu Raj C. M., Muralledharan K.R., Maheswari N. (2011). Myctophid and pelagic shrimp assemblages in the oxygen minimum zone of the Andaman Sea during the winter monsoon. *Indian Journal of Geo-Marine Sciences*. Vol. 40(4), pp. 535–541.
22. Basu P., Verma R., Paul R. Viswanath K. (2012). Mud volcanoes in deep water of Andaman Forearc Basin. *9th Biennial International Conference & Exposition on Petroleum Geophysics*, Hyderabad 2012, 7 p.
23. Prakash A., Samanta B. G., Singh N.P. (2012). Evidence of gas hydrate accumulation and its resource estimation in Andaman deep water basin from seismic and well log data. *Marine Geophysical Research*. V. 34, pp. 1–16. DOI 10.1007/s11001-012-9163-3.
24. Etiope G. (2015). Natural Gas Seepage: The Earth's hydrocarbon degassing. *Springer International Publishing*, 199 p. DOI 10.1007/978-3-319-14601-0.
25. Bondur V. G. (2011). Aerospace methods and technologies for monitoring oil and gas areas and facilities. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. 47(9), pp. 1007–1018. DOI 10.1134/s0001433811090039.

Об авторах

Дмитрий Сергеевич Логинов – кандидат технических наук, доцент кафедры визуализации геоданных и картографического дизайна (картографический факультет, МИИГАиК), главный картограф (ООО «Целевой Горизонт»).

Виктор Владимирович Беленко – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры космического мониторинга и экологии.

Наталья Игоревна Баранова – инженер 1-й категории (ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт»), аспирант кафедры визуализации геоданных и картографического дизайна (картографический факультет, МИИГАиК).

Author details

Dmitriy S. Loginov – Ph. D., Associate Professor, Department of Geodata Visualization and Cartographic Design, Leading GIS-specialist.

Viktor V. Belenko – D. Sc., Professor, Department of Space Monitoring and Ecology

Natalia I. Baranova – 1st Category Engineer, Ph. D. student, Department of Geodata Visualization and Cartographic Design.

Получено / Received 10.04.2026

Поступила после рецензирования / Revised 18.05.2026

Принята к публикации / Accepted 27.05.2026