

References

1. *Nauchno-tehnicheskie problemy osvoeniya Arktiki. Doklad ministra prirodnih resursov i ehkologii RF S. E. Donskogo*. Moscow, Nauka, 2015, 490 p. (In Russ.).
2. *Sozdanie ehffektivnoj sistemy aviacionnogo monitoringa Severnogo morskogo puti i pribrezhnyh territorij*. (In Russ.). Available at: http://www.terra-viva.ru/img/news2015/dokl_oleynikov.pdf (accessed: 16.02.2017).
3. Selin V. S., Vasil'ev V. V. Tendencii i riski hozyajstvennoj deyatel'nosti v Arktike v usloviyah dolgovremennyh klimaticeskikh izmenenij. *Arktika i Sever*, 2011, no. 1, pp. 125–133. (In Russ.).
4. Bogoyavlenskij V. I. Arktika i Mirovoj okean: sovremennoe sostoyanie, perspektivy i problemy osvoeniya resursov uglevodorodov. *Vol'noe ehkonomicheskoe obshchestvo "Abalkinskie chteniya: kruglyj stol "Ehkonomicheskij rost Rossii" po teme "Sever Rossii: potentsialy razvitiya"*, 2014, vol. 187. (In Russ.).
5. *Prioritety Rossii v Arktike. Special'nyj doklad k mezhdunarodnomu forumu tekhnologicheskogo razvitiya "Tekhnoprom-2016"*. Novosibirsk, 2016, 64 p. (In Russ.).
6. Leksin V. N., Porfir'ev B. N. *Gosudarstvennoe upravlenie razvitiem Arkticheskoy zony Rossijskoj Federacii: zadachi, problemy, resheniya*. Moscow, Nauchnyj konsul'tant, 2016, 194 p. (In Russ.).
7. Porfir'ev B. N., Terent'ev N. E. Ehkologo-klimaticheskie riski social'no-ehkonomicheskogo razvitiya Arkticheskoy zony Rossijskoj Federacii. *Ehkologicheskij vestnik Rossii*, 2016, no. 1, pp. 44–51. (In Russ.).
8. *Ehkonomicheskaya bezopasnost' i snizhenie neravnomernosti prostranstvennogo razvitiya rossijskogo Severa i Arktiki*. Apatity, KNC RAN, 2012, 232 p. (In Russ.).
9. *Faktornyj analiz i prognoz gruzopotov Severnogo morskogo puti*. Apatity, KNC RAN, 2015, 335 p. (In Russ.).
10. *O vnesenii izmenenij v otdel'nye zakonodatel'nye akty Rossijskoj Federacii v chasti gosudarstvennogo regulirovaniya torgovogo moreplavaniya v akvatorii Severnogo morskogo puti*. (In Russ.). Available at: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70107760/> (accessed: 16.02.2017).
11. *Zavoevat' Arktiku*. (In Russ.). Available at: <http://www.transarctica-forum.com/analitika4/14/>
12. Nazarov V. I., Kalist L. V. Riski v sisteme upravlencheskikh reshenij po vyboru napravlenij i ob'ektov osvoeniya morskikh uglevodorodnyh resursov. *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika*, 2007, (2). (In Russ.).
13. *Gosduma odobrila nalogovye l'goty dlya shel'fa*. (In Russ.). Available at: <http://www.vedomosti.ru/companies/news/13809791/vse-dlya-shelfa#ixzz2zGPdMpmS> (accessed: 16.02.2017).
14. *Gazprom zapustil v promyshlennuyu ehkspluatatsiyu Prirazlomnoe mestorozhdenie*. (In Russ.). Available at: <http://itar-tass.com/ekonomika/849235> (accessed: 16.02.2017).
15. Bogoyavlenskij V. I. *Interv'yu v ezhednevnoj gazete "Poisk" nauchnogo soobshchestva*. (In Russ.). Available at: <http://www.poisknews.ru/theme/science/9351>
16. Voronina E. P. *Mezhdunarodnaya i rossijskaya praktika transportirovki uglevodorodov dlya formirovaniya gruzopotov nefti s arkticheskogo shel'fa Rossii*. Moscow, IEN RAN, 2007, 188 p. (In Russ.).

УДК 622.323:504

ОСОБЕННОСТИ КОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТЕРРИТОРИИ РАЗРАБАТЫВАЕМЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НЕФТИ И ГАЗА В АРКТИКЕ

А. Е. Воробьев,

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой
Российский университет дружбы народов, г. Москва, Россия

Д. В. Очирова,

магистр, аспирант
Российский университет дружбы народов, г. Москва, Россия

Аннотация. Описаны современные решения, направленные на улучшение качества экологических исследований для нефтяной промышленности. Приведены данные зондирования земной поверхности космическими методами и технологиями. Показана необходимость использования космических методов при мониторинге экологического состояния территории нефтепромыслов. Приведены данные об обнаружении и мониторинге нефтяных разливов в арктических регионах с помощью космических средств дистанционного зондирования Земли. Указаны проблемы и перспективы использования спутникового мониторинга арктических морей.

Ключевые слова: арктические регионы, дистанционное зондирование, космический мониторинг, радиолокатор с синтезированной апертурой, Баренцево море, разливы нефти.

SPECIFICITY OF SPACE MONITORING OF THE GEOECOLOGICAL STATE OF THE TERRITORY OF OIL AND GAS FIELDS IN THE ARCTIC

A. E. Vorobyov,

**Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Head of Department
Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia**

D. V. Ochirova,

**Postgraduate Student
Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia**

Abstract. The paper describes the modern solutions, aimed at improving quality of environmental research for the oil industry. The data on sensing the Earth's surface with space methods and technologies, are given. The necessity of the use of space methods for monitoring ecological status of oil fields, has been shown. The data on detection and monitoring of oil spills in the Arctic regions, using space remote sensing of the Earth, are given. The problems and prospects of satellite monitoring of the Arctic seas have been described.

Keywords: Arctic regions, remote sensing, space monitoring, synthetic aperture radar, the Barents Sea, oil spills.

Баренцево море — окраинное море Северного Ледовитого океана площадью 1424 тыс. км². Оно омывает берега России и Норвегии и ограничено северным побережьем Европы и архипелагами Шпицберген, Земля Франца-Иосифа и Новая Земля, расположено на континентальном шельфе и относительно мелководно. Из-за влияния Северо-Атлантического течения юго-западная часть моря зимой не замерзает. В отличие от нее юго-восточная часть моря — Печорское море — практически каждый год покрывается льдами [1]. Баренцево море имеет большое значение для транспорта и рыболовства, здесь расположены крупные порты — Мурманск (РФ) и Вардё (Норвегия).

Экологические проблемы освоения шельфа Арктики в первую очередь связаны с аварийными разливами нефти. Для того чтобы считать шельфовые проекты в Арктике безопасными, необходимо иметь эффективные технологии мониторинга и ликвидации разливов нефти в арктических ледовых условиях.

Дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) — один из важнейших и бурно развивающихся видов космической деятельности, который наиболее восприимчив к инновациям. Этот вид деятельности является чрезвычайно перспективной сферой, которая уже сейчас вносит большой вклад в экономику развитых стран. Ее характерной чертой являются высокие темпы развития и быстрое получение практически значимых результатов. Этот сектор космической деятельности основан на использовании высоких наукоемких технологий и последних достижений фундаментальной и прикладной науки. Авиационные средства мониторинга занимают свою нишу при решении задач мониторинга объектов нефтегазовой отрасли, связанную с получением более детальной информации и в более локальном масштабе. Эффективность их применения существенно повышается в случае комплексирования с космическими средствами [2].

Для аэрокосмического мониторинга объектов нефтегазового комплекса уже в настоящее время используются различные методы ДЗЗ, в том числе: методы, основанные на регистрации характеристик электромагнитного поля, прежде всего оптико-электронные сканерные методы; тепловизионные методы; методы ИКи СВЧ-радиометрии; гиперспектральные методы; лидарные методы; РЛ-методы — радары с синтезированной апертурой (РСА) и радары бокового обзора (РЛСБО); магнитометрические методы; гравиметрические методы; пассивные методы, основанные на регистрации потоков частиц (гамма-спектрометрия) [3].

Перспективы повышения эффективности аэрокосмического мониторинга объектов нефтегазового комплекса связаны с широким использованием новых методов ДЗЗ, таких, например, как: дистанционная пространственно-частотная спектрометрия, многочастотные радиотомография и СВЧ-радиометрия, многочастотная радиоволнография, радиоинтерферометрия, бистатическая радиолокация, Фурье-спектрометрия, лазерное флуоресцирование, методы спутниковой навигации, спутниковая альтиметрия, активные методы, основанные на регистрации потоков элементарных частиц и др., а также с комплексным использованием разнородной аэрокосмической и подспутниковой (в том числе геофизической) информации.

Для проведения мониторинга объектов нефтегазового комплекса могут использоваться [4]:

- спутники, оборудованные оптической аппаратурой УФ, видимого и ИК-диапазонов спектра сверхвысокого и высокого разрешения — 0.4–4.0 м; многоспектральной аппаратурой среднего — 5.0–90 м — и низкого разрешения (обзорные) — 100 м — 1 км; гиперспектральной аппаратурой.

- РЛ-спутники, оборудованные РСА высокого (1.0–8.0 м), среднего (12.5–25 м) и низкого (100–600 м) разрешения;

- спутники для магнитной и гравитационной съемок;

- метеорологические спутники;

- средства спутниковых навигационных систем;

- пилотируемые долговременные орбитальные станции;

- воздушные средства (самолеты, вертолеты, дельтапланы, беспилотные летательные аппараты и дирижабли), оборудованные цифровыми оптическими камерами; сканирующими оптико-электронными комплексами; гиперспектрометрами; тепловизорами, ИК-радиометрами; лидарами; РСА; микроволновыми радиометрами, аппаратурой гамма-съемки и другими приборами;

- средства связи и передачи данных;

- наземные ситуационные и информационно-аналитические центры;

- программные и технические средства для обработки информации, формирования баз данных, представления пространственно-организованных данных в виде ГИС в интересах решения широкого спектра задач нефтегазовой отрасли.

В процессе проведения аэрокосмического мониторинга нефтегазоносных территорий и объектов нефтегазового комплекса формируется исходная информация (аэрокосмические изображения, другие данные ДЗЗ, а также геофизическая информация). При использовании воздушных средств мониторинга оперативная обработка информации в отдельных случаях может производиться на борту авиационных средств и ее результаты могут передаваться потребителям в онлайн-режиме или поступать на наземные средства обработки.

На рисунке 1 приведена принципиальная схема передачи информации от системы мониторинга к конечному месту обработки и хранения информации. Как иллюстрирует рис. 1, существует несколько способов получения данных от измерительного устройства (космический спутник, самолет, наземные и морские станции мониторинга, суда, беспилотные летательные аппараты). Ключевая часть мониторинга, помимо самого устройства, – спутниковая система [5].

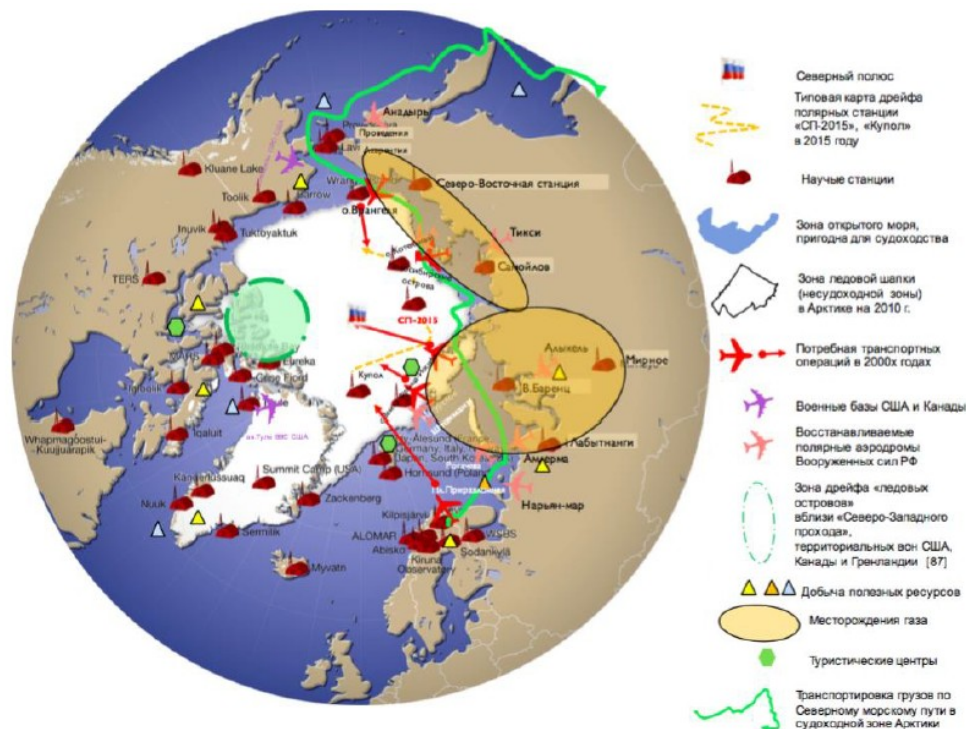


Рис. 1. Схема передачи информации с применением системы мониторинга

Обнаружение и мониторинг разливов нефти являются ключевыми факторами при рассмотрении вопросов эффективного выделения ресурсов на ликвидацию аварийного разлива нефти. Информация по результатам обнаружения и мониторинга местоположения нефти определяет цели и задачи для применения технологий ликвидации разливов нефти.

В настоящее время общепризнано, что космическая радиолокация является эффективным средством дистанционного зондирования Земли для обнаружения разливов нефти, причем использование радиолокаторов с синтезированной апертурой (РСА), формирующих радиолокационные (РЛ) изображения (РЛИ) поверхности моря, является одним из наилучших решений [6, 7]. Широкое применение данных космической радиолокации началось в 1991 г. с запуска европейского спутника ERS-1 (1991–2000 гг.) с РСА на борту. Его эстафету подхватили спутники ERS-2 (1995–2010 гг.), Radarsat-1 (1995–2013 гг.), Envisat (2002–2012 гг.), ALOS (2006–2011 гг.), Radarsat-2 (2007 г. — по настоящее время), ALOS-2 и Sentinel-1A (оба запущены в 2014 г.) и др. [8].

Нефтяные разливы в море — наиболее сложные и динамические явления [9]. Каждый разлив по-своему уникален и неповторим из-за практически бесконечного набора конкретных природных и антропогенных факторов, обуславливающих его поведение в данном месте и в данное время.

Распространение и выветривание нефти в зимнее время затруднены главным образом из-за присутствия льда и низких температур. Низкая температура окружающей среды приводит к тому, что нефть теряет текучесть и ее дальнейшее распространение прекращается. Разливы нефти на льду и под ним обычно не могут перемещаться независимо от него, они остаются недалеко от зоны первоначального разлива, а в случае дрейфа льдов нефть будет перемещаться вместе с ними.

Пятна нефти, нефтепродуктов и прочих пленочных загрязнений уменьшают обратное рассеяние на морской поверхности, подавляя мелкомасштабные гравитационные капиллярные волны (ГКВ), и регистрируются на РЛИ в виде темных областей различной формы и размеров. Различия в интенсивности РЛ-сигнала, рассеянного в области нефтяного пятна и на поверхности чистой воды, позволяют выявлять пленочные загрязнения [10]. С одной стороны, благодаря этому обнаружение разливов на поверхности моря с использованием радиолокации и различных приемов обработки изображений не составляют труда. С другой стороны, области выглаживания ГКВ, создаваемые маслянистыми пленками (нефть, жир, масло), а также аэрогидродинамическим воздействием на морскую поверхность (слабый ветер или сильные течения), создают на РЛИ практически похожие сигнатуры и могут быть легко перепутаны при анализе.

Среди нефтяных загрязнений моря можно выделить три основных класса, которые в настоящее время необходимо обнаруживать и идентифицировать дистанционно:

- пятна сырой нефти и тяжелых нефтепродуктов, возникающие в результате аварийных ситуаций с платформами, танкерами, нефтепроводами и другими объектами ТЭКа;
- судовые разливы, образующиеся в результате сброса широкого класса жидких отходов, содержащих разнообразные нефтепродукты;
- пленки грифонной нефти естественного происхождения (в местах грифонной активности).

Пятна выглаживания и слики на РЛИ одноканальных РСА, образованные различными явлениями в океане и атмосфере, могут быть различены в результате использования разнообразных методов обработки и анализа [6, 7] и дополнительного набора данных/измерений, однако пятна могут значительно варьироваться в зависимости от конкретных условий среды (скорости ветра и поверхностных течений). В случае использования РСА с одним поляризационным каналом автоматическое распознавание практически невозможно, однако многоканальные (поляриметрические) РСА помогают найти решение этой проблемы.

Основной ценностью космических РСА в арктических приложениях до сих пор считается их способность контролировать изменяющуюся ледовую обстановку в районе и непосредственной близости от места разлива, что дает ценную информацию для планирования операций по ликвидации аварийных разливов [11].

Были исследованы возможности космической радиолокации на примере мониторинга места установки платформы ПА-Б на северо-востоке шельфа о. Сахалин в Охотском море. В них впервые в отечественной практике был реализован комплексный подход к этой проблеме и предпринята попытка восстановления параметров морской среды (с использованием только данных ДЗЗ), необходимых нужд потребителей. Было показано, что космическую РЛ-съемку высокого разрешения и широкого обзора как оперативную и всепогодную целесообразно применять для наблюдения и исследования различных процессов и явлений, происходящих в северных и арктических морях, а также применять для слежения за положением и перемещением судов. РСА-съемка может стать

основным и даже единственным и самодостаточным источником информации при обеспечении работ нефтегазового комплекса на обширных акваториях арктических морей [7, 12].

Главная проблема спутникового мониторинга арктических морей состоит в невозможности однозначного обнаружения и/или адекватной идентификации пятен нефти и нефтепродуктов в тех случаях, когда имеется ледяной покров. Спутниковые методы могут эффективно применяться только в тех случаях, когда нефть находится на поверхности воды или льда.

Так, эксперименты с искусственными разливами, проведенные в водах Шпицбергена, показали, что существующие самолетные датчики ДЗЗ легко позволяют обнаруживать даже небольшие нефтяные пятна в условиях открытой воды, однако вероятность обнаружения существенно падает с повышением концентрации льда. В условиях сплоченного льда дистанционное обнаружение пятен нефти с самолетов затруднено или невозможно [13].

Космическую РЛ-съемку высокого разрешения и широкого обзора как наиболее оперативную и всепогодную целесообразно применять в полярных регионах для наблюдения и исследования различных явлений и процессов в океане, нефтяных загрязнений и морских льдов с использованием спутников TerraSAR_X; RADARSAT_1, 2; Envisat, ERS_1, 2; ALOS (PALSAR). На радиолокационных снимках за счет снятия или снижения маскирующего воздействия растительного покрова, являющегося помехой, структурный рисунок изучаемых объектов выделяется более четко (рис. 2). Она может стать основным источником информации при обеспечении работ нефтегазового комплекса на шельфах северных и арктических морей, позволяющим получить информацию о гидрометеорологических условиях, ледовой и навигационной обстановке, нефтяных загрязнениях и естественных нефтепроявлениях.

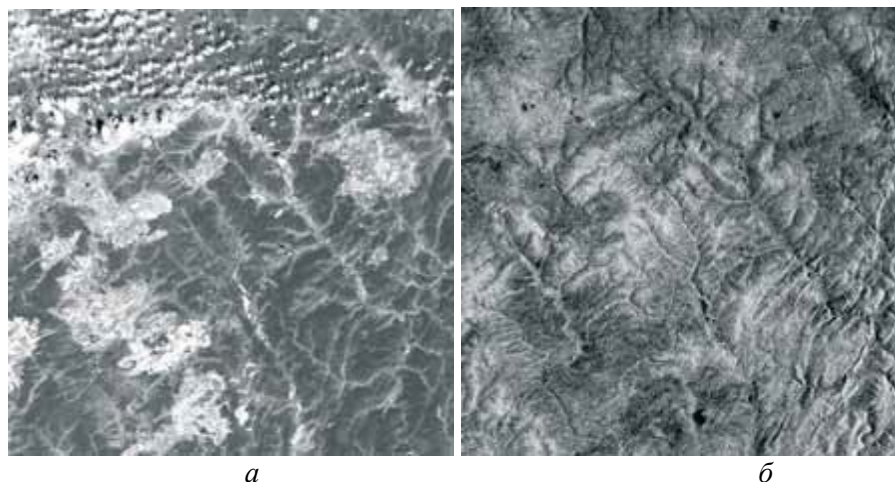


Рис. 2. Структурная информативность космических снимков, полученных в различных диапазонах электромагнитного спектра на район Чаяндинского месторождения:

а — космический снимок в видимом диапазоне спектра (Landsat_7); *б* — космический снимок в радиодиапазоне (ERS)

Преимущество этого вида съемки заключается в возможности получения величин современных подвижек земной поверхности над ловушками и осложняющими их разломами с точностью до нескольких сантиметров, по которым можно оценить степень подвижности:

- разрывных нарушений, которые могут являться открытыми каналами и привести к разрушению залежей, особенно газа, или падению пластового давления;
- структурной ловушки, так как при ее интенсивном подъеме снижается геостатическое давление и происходит изменение уровня эмигрировавшего газа или ее переформирование.

При поисках нефти и газа может и частично используется дистанционное зондирование в видимом и инфракрасном диапазонах, включая лазерную съемку.

Съемка в ультрафиолетовом диапазоне регистрирует только ареал распространения нефтепроявлений и их продуктов на дневной поверхности.

Съемки в видимом диапазоне спектра применяются для решения задач прогнозирования структурных ловушек и оценки их нефтегазоносности. При прогнозировании структурных ловушек нефти

и газа дистанционное зондирование является в некоторой степени конкурентом сейсморазведки в отношении установления их границ на земной поверхности, но не глубин залегания [14].

Информация в видимом диапазоне спектра также может быть использована при оценке нефтегазоносности ловушек, подготовленных к глубокому бурению. На основании многочисленных экспериментов установлено, что при наличии небольшого количества углеводорода, мигрирующего из месторождений к поверхности Земли и скапливающегося в почве, в них происходит ряд химических преобразований, негативным образом влияющих на корневую систему растений и приводящих к изменению количества каротиноидов, определяющих изменение окраски листьев. Этот довольно тонкий эффект регистрируется в относительно узком спектральном диапазоне (порядка 10–20 нм) и называется «голубой сдвиг» (рис. 3). Таким образом, в ареале месторождения регистрируется изменение фоновых характеристик растительного покрова, имеющее повсеместное развитие во всех нефтегазоносных бассейнах России.

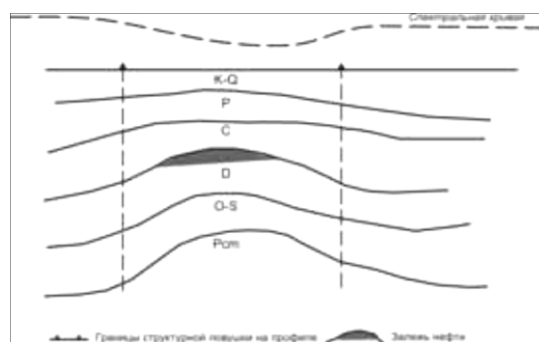


Рис. 3. Схематический геологический разрез через структурную ловушку, отраженную на спектральной кривой в красной зоне снижением отражательной характеристики на уровне фона

Следующий вид дистанционного зондирования, также решающий задачу прогноза нефтегазоносности, — лидарная съемка. На нефтегазовых месторождениях прошел проверку наземный вариант лидарного зондирования, показавший превосходный результат (рис. 4). При относительно низких фоновых значениях метана его величина в контуре месторождения повышается в несколько раз. Минимальное содержание регистрируемого метана может составлять одну миллионную долю от объема воздуха.



Рис. 4. Изменение концентрации метана по профилю, пересекающему Анастасиевско-Троицкое газовое месторождение

Наибольший интерес представляет использование инфракрасной (ИК) съемки при решении задачи прогноза нефтегазоносности для обоснования бурения поисковых скважин. Это связано с тем, что представляется возможным:

- проверить качество ловушки нефти и газа;
- определить наличие разрывных нарушений через трассирование зон разгрузки глубинных вод, их влияние на сохранность залежи и установить непосредственный канал связи между скоплениями углеводородов и земной поверхностью для проведения геохимических исследований;
- проанализировать значимость геотермического критерия нефтегазоносности.

Необходимо подчеркнуть, что обычно работы проводятся в условиях структурно-тектонической зоны, которой свойственны близость литолого-фациальных характеристик осадочного чехла и условий формирования. Однако в пределах структурных зон геотемпературные показатели различаются, сохраняя возможность распознавания разных классов объектов. То есть в пределах однотипных структурных зон отмечаются относительная дифференцированность и различия типов структур, содержащих и не содержащих скопления углеводородов в распределении температурных показателей, полученных в ближнем, среднем и дальнем диапазонах инфракрасной области спектра.

Применение современных технологий обработки аэрокосмической информации позволяет повысить эффективность мониторинга и минимизировать негативное воздействие объектов нефтегазовой отрасли на окружающую среду. Таким образом, использование космических средств дистанционного зондирования Земли перспективно для организации экологического мониторинга нефтегазоносных районов Арктики, характеризующихся труднодоступностью и тяжелыми погодными условиями.

Литература

1. Зонн И., Костяной А. Баренцево море. Энциклопедия. М., 2011. 272 с.
2. Бондур В. Г. Аэрокосмические методы и технологии мониторинга нефтегазоносных территорий и объектов нефтегазового комплекса // Исследование земли из космоса. 2010. № 6. С. 3–17.
3. Воробьева А. А. Дистанционное зондирование Земли. СПб., 2012. 168 с.
4. Гарбук С. В., Гершензон В. Е. Космические системы дистанционного зондирования земли. М., 1997. 297 с.
5. Повышение конкурентоспособности российских стратегических инфраструктурных проектов в Арктике за счет взаимодействия авиационно-космических комплексов и автономных станций наземного и морского мониторинга / О. С. Долгов, Н. М. Куприков, Л. Н. Рабинский, Д. О. Доронин, Б. В. Иванов // Вестник инженерной школы ДВФУ. 2016. № 3. С. 82–91.
6. Иванов А. Ю. Стики и пленочные образования на космических радиолокационных изображениях // Исследование Земли из космоса. 2007. № 3. С. 73–96.
7. Ivanov A. Yu. Application of SAR for monitoring of activity and environmental parameters during oil platform installation // Int. J. Rem. Sensing. 2010. Vol. 31, no. 17–18. P. 4835–4851.
8. Копылов В. Н. Космический мониторинг окружающей среды. Ханты-Мансийск, 2008. 216 с.
9. Патин С. А. Нефть и экология континентального шельфа. М.: ВНИРО, 2001. 247 с.
10. Solberg A. H. S., Brekke C. Oil detection in Northern European waters: Approaches and algorithms // Remote Sensing of the European Seas. 2008.
11. Ликвидация разливов нефти на арктическом шельфе / С. И. Поттер и др. М., 2013. 140 с.
12. Иванов А. Ю. О восстановлении параметров морской среды по данным космических РСА // Исследования Земли из космоса. 2010. № 3. С. 77–92.
13. Dickins D. F., Andersen J. H. S. Remote sensing technology // Review and Screening. 2009.
14. Трофимов Д. М. Дистанционное зондирование: новые технологии — новые возможности поисков нефти и газа // Геоматика. 2009. № 1. С. 17–26.
15. Fingas M., Brown C. Review of oil spill remote sensing. 2014. Vol. 8, no. 1.

References

1. Zonn I., Kostyanoy A. *Barentsevo more. Entsiklopediya*. Moscow, 2011, 272 p. (In Russ.).
2. Bondur V. G. Aerokosmicheskie metody i tehnologii monitoringa neftegazonosnykh territoriy i ob'ektov neftegazovogo kompleksa. *Issledovanie zemli iz kosmosa*, 2010, no. 6, pp. 3–17. (In Russ.).
3. Vorobeva A. A. *Distantstionnoe zondirovanie Zemli*. Saint-Petersburg, 2012, 168 p. (In Russ.).
4. Garbuk S. V., Gershenzon V. E. *Kosmicheskie sistemyi distantstionnogo zondirovaniya zemli*. Moscow, 1997, 297 p. (In Russ.).
5. Dolgov O. S., Kuprikov N. M., Rabinskiy L. N., Doronin D. O., Ivanov B. V. Povyishenie konkurentosposobnosti rossiyskikh strategicheskikh infrastruktturnykh proektov v Arktike za schet vzaimodeystviya aviatsionno-kosmicheskikh kompleksov i avtonomnykh stantsiy nazemnogo i morskogo monitoringa. *Vestnik inzhenernoy shkolyi DVFU*, 2016, no. 3. pp. 82–91. (In Russ.).
6. Ivanov A. Yu. Sliki i plenochnyie obrazovaniya na kosmicheskikh radiolokatsionnykh izobrazheniyah. *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, 2007, no. 3, pp. 73–96. (In Russ.).
7. Ivanov A. Yu. Application of SAR for monitoring of activity and environmental parameters during oil platform installation. *Int. J. Rem. Sensing*, 2010, vol. 31, no. 17–18, pp. 4835–4851.

8. Kopylov V. N. *Kosmicheskiy monitoring okruzhayushey sredy*. Khanty-Mansiysk, 2008, 216 p. (In Russ.).
9. Patin S. A. *Neft i ekologiya kontinentalnogo shelfa*. Moscow, VNIRO, 2001, 247 p. (In Russ.).
10. Solberg A. H. S., Brekke C. Oil detection in Northern European waters: Approaches and algorithms. *Remote Sensing of the European Seas*, 2008.
11. Potter S. et al. *Likvidatsiya razlivov nefti na arkticheskoy shelfe*. Moscow, 2013, 140 p. (In Russ.).
12. Ivanov A. Yu. O vosstanovlenii parametrov morskoy sredy po dannym kosmicheskikh RSA. *Issledovaniya Zemli iz kosmosa*, 2010, no. 3, pp. 77–92. (In Russ.).
13. Dickins D. F., Andersen J. H. S. Remote sensing technology. *Review and Screening*, 2009.
14. Trofimov D. M. Distantionnoe zondirovanie: novyye tekhnologii — novyye vozmozhnosti poiskov nefti i gaza. *Geomatika*, 2009, no. 1, pp. 17–26. (In Russ.).
15. Fingas M., Brown C. Review of oil spill remote sensing, 2014, vol. 8, no. 1.