



УДК 621.396.967

РАДИОЛОКАЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ЗАГРЯЗНЕНИЙ МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ НЕФТЕПРОДУКТАМИ С БУРОВЫХ ПЛАТФОРМ И ТРАНСПОРТНЫХ СУДОВ

И.Е.УШАКОВ

Санкт-Петербургский горный университет, Россия

На основании анализа закономерностей рассеяния радиоволн морской поверхностью при различных углах облучения рассмотрены особенности радиолокационного обнаружения нефтяных разливов. Показана перспективность использования радиолокационных средств для обнаружения разливов нефтепродуктов при наклонном облучении морской поверхности. Рассмотрены особенности мониторинга загрязнений морской поверхности нефтепродуктами с использованием радиолокаторов, установленных на морских нефтяных платформах и транспортных судах. Предложены варианты повышения контраста участков морской поверхности, покрытых нефтяной пленкой, на радиолокационных изображениях. Определены основные требования к радиолокационным средствам мониторинга нефтяных загрязнений.

Ключевые слова: разлив нефтепродуктов, слик, нефтяное пятно, радиолокационное зондирование, радиолокационный контраст.

Как цитировать эту статью: Ушаков И.Е. Радиолокационный мониторинг загрязнений морской поверхности нефтепродуктами с буровых платформ и транспортных судов // Записки Горного института. 2016. Т.219. С.421-427. DOI 10.18454/PMI.2016.3.421

Введение. Площадь континентального шельфа Российской Федерации составляет около 6,2 млн км². Более 4 млн км² являются перспективными для добычи нефти и газа [9].

Около 85 % потенциальных запасов углеводородов находятся на шельфе российских арктических морей. По имеющимся оценкам, масштабное освоение месторождений арктического шельфа будет возможным при устойчивых ценах на нефть – более 80 долларов США за баррель [13]. В современных условиях это маловероятно. Более перспективным представляется развитие морской добычи нефти в России на шельфе морей Дальнего Востока, а также на Балтийском море и в северной части Каспийского моря [1, 9].

Ежегодно увеличиваются объемы перевозок нефти танкерным флотом. Например, объемы морской транспортировки российской нефти через Баренцево море вдоль побережья Норвегии с 2003 г. увеличились более чем в 2 раза. Другое направление перевозки нефти из арктического региона России – на восток по Северному морскому пути. По оценкам специалистов, при прохождении судна по Севморпути экономится примерно 45 % времени в сравнении с альтернативным маршрутом через Суэцкий канал. По имеющимся сведениям [5], около 35 % объема нефтяных загрязнений морей связано с транспортными перевозками.

Мониторинг состояния окружающей среды является непременным условием развития морской добычи и транспортировки нефти.

Аварийный разлив нефтепродуктов должен быть обнаружен в кратчайшие сроки непосредственно после возникновения аварийной ситуации. Оперативное обнаружение нефтяных пятен при любых погодных условиях и в любое время суток – одно из основных требований контроля за антропогенными нефтяными загрязнениями морской поверхности. Для выполнения этого требования наиболее перспективным является использование радиолокационных средств [12].

В последние годы большое внимание уделяется развитию методов обнаружения нефтяных пятен на водной поверхности с использованием радиолокаторов с синтезированной апертурой, установленных на космических аппаратах [1, 4, 9, 15, 16]. Космические средства позволяют получать информацию с интересующего района не чаще, чем 1-2 раза в сутки, что не обеспечивает необходимой оперативности обнаружения нефтяных загрязнений морской поверхности.

Одним из перспективных направлений оперативного получения информации о нефтяных разливах является использование радиолокаторов, установленных на морских нефтяных платформах и транспортных судах [6, 10].

Согласно мировым расценкам, загрязнителю морской воды каждый литр вылитых в воду нефтепродуктов обходится в 300 американских долларов. Экологическая чистота операций по морской добыче нефти, загрузке и разгрузке танкерного флота, отсутствию нарушений на судовых трассах может быть документирована на основании информации, получаемой с использованием радиолокаторов, установленных на нефтяных платформах, танкерах, а также в портах. Для практической реализации этого положения необходимы:



- научно обоснованные методики использования радиолокационной информации для обнаружения загрязнений моря нефтепродуктами;
- юридически обоснованные процедуры сбора и формы представления материалов радиолокационного мониторинга морской поверхности, пригодные для использования в качестве доказательной базы с целью принятия судебных решений в рамках международного морского права.

В данной работе на основании анализа закономерностей рассеяния радиоволн морской поверхностью рассмотрены особенности радиолокационного обнаружения нефтяных разливов при различных углах скольжения (угол между направлением облучения и горизонтальной плоскостью). Оценены перспективы организации мониторинга загрязнений морской поверхности нефтепродуктами с использованием радиолокационных средств, установленных на нефтяных платформах и транспортных судах.

Общие закономерности рассеяния радиоволн поверхностью моря. Сложность задачи определения поля радиоволн, рассеянных взволнованной морской поверхностью, обусловлена невозможностью точного математического описания этой поверхности. В связи с этим необходимо построение моделей поверхности моря, в различной степени отражающих те или иные стороны реального процесса.

Общепризнанной и широко используемой в настоящее время является двухмасштабная модель морской поверхности [2, 12, 14]. Поверхность моря в соответствии с этой моделью представляется в виде суперпозиции поверхностей двух размеров: крупные пологие волны и накладываются на них мелкоструктурные образования (рябь). Крупные неровности должны удовлетворять условиям применимости метода Кирхгофа (площадки, размеры которых существенно превышают длину радиоволны, не должны заметно отклоняться от плоскости), а мелкомасштабные составляющие – условиям применения метода малых возмущений. Поле над суммарной поверхностью находят в виде суперпозиции двух полей: поля, рассеянного крупномасштабной поверхностью, и возмущенного поля, вызванного мелкими неровностями.

Такая модель достаточно хорошо описывает закономерности рассеяния радиоволн в широком диапазоне (от миллиметровых до метровых волн) и большом интервале углов облучения: от вертикального до углов скольжения в несколько градусов.

В качестве характеристики отражательных свойств морской поверхности используют удельную эффективную площадь рассеяния (УЭПР) – ЭПР 1 м^2 облучаемого участка моря. В угловой зависимости УЭПР морской поверхности можно выделить три характерных области: квазизеркальную, область «плато» и интерференционную.

Появление на поверхности воды пленки нефтепродуктов приводит к изменению формы мелких волн и гашению высокочастотных составляющих в спектре поверхностного волнения [12, 17], что вызывает изменение уровня отраженных радиолокационных сигналов. Область выглаживания ряби на поверхности моря называют сликом (от англ. *slick* – гладкий, блестящий).

Уменьшение коэффициента поверхностного натяжения в слике по сравнению с чистой поверхностью приводит к уменьшению фазовой скорости мелких (капиллярных) поверхностных волн. Это, в свою очередь, вызывает уменьшение сдвига центральной частоты спектра рассеянного радиоизлучения относительно частоты облучающего поля [12].

Отражение радиоволн от морской поверхности при облучении, близком к вертикальному. При углах скольжения от 90 (вертикальное облучение) до 70-60 град. поле в обратном направлении формируется за счет квазизеркальных отражений от крупных волн. В этой области углов УЭПР не зависит от поляризации радиоизлучения. При усилении волнения УЭПР морской поверхности при вертикальном облучении уменьшается, а область зеркальных отражений увеличивается.

В этой области углов влияние мелкоструктурных составляющих поверхностного волнения на интенсивность отраженных сигналов незначительное. Гашение этих составляющих при появлении на поверхности моря пленки нефтепродуктов не вызывает заметного изменения уровня обратного отражения.

Исследования [12], выполненные в штормовом бассейне при скорости ветра до 12 м/с, показали, что при вертикальном облучении отражения от слика несколько больше, чем от чистого волнения. Значения радиолокационного контраста сликов не превышает единиц децибел. При уменьшении угла скольжения контраст уменьшается, при углах скольжения 80-75 град. интенсивность отражений от слика становится меньше, чем от чистой поверхности. На границе области квазизеркальных отражений контраст сликов также не превышает единиц децибел (при скорости ветра 5-12 м/с).

Область квазизеркальных отражений от морской поверхности из-за низкой контрастности сликов в настоящее время практически не используется для радиолокационного обнаружения нефтяных разливов.



Следует отметить привлекательность этого диапазона углов облучения ввиду благоприятных энергетических соотношений (УЭПР морской поверхности на несколько десятков децибел выше, чем при наклонном облучении). Задача заключается в разработке методов и алгоритмов обработки отраженных сигналов, обеспечивающих повышение контраста нефтяных пятен на радиолокационных изображениях морской поверхности.

Обнаружение нефтяных разливов при наклонном облучении поверхности моря. При углах скольжения менее 70-60 град. рассеяние радиоволн морской поверхностью носит избирательный характер [2, 12]. Согласно теории избирательного рассеяния поле в обратном направлении формируется за счет рассеяния радиоизлучения на составляющих сравнительно небольшого участка спектра поверхностных волн, длина которых соизмерима с длиной облучающей радиоволны. Влияние крупных волн связано с пространственно-временной модуляцией обратного рассеяния. Интенсивность обратного рассеяния в этом случае пропорциональна квадрату высоты резонансной составляющей поверхностного волнения.

В этой области углов скольжения наблюдается существенная зависимость УЭПР морской поверхности от поляризации радиоизлучения: при углах скольжения 70-60 град. УЭПР поверхности моря для вертикальной и горизонтальной поляризаций радиоизлучения приблизительно совпадает.

При уменьшении угла скольжения УЭПР морской поверхности для обеих поляризаций уменьшается, при этом отличие УЭПР для разных поляризаций увеличивается. Изменение угла скольжения от 70 до 10 град. приводит к уменьшению УЭПР морской поверхности приблизительно на 50-60 дБ для горизонтальной поляризации радиоизлучения, в то время как для вертикальной поляризации уменьшение УЭПР не превышает 20-30 дБ. Эту область углов скольжения, для которой характерно сравнительно медленное изменение УЭПР морской поверхности, называют областью «плато».

Наблюдаемость нефтяных разливов на морской поверхности характеризуется контрастом зон со сглаженным волнением по отношению к фону (чистой поверхности) – отношением средней мощности отражений от фона к средней мощности при рассеянии от слика. Исходя из условия, что энергия поверхностных волн до гашения равна сумме энергии волн после гашения и энергии, поглощаемой пленкой при ее растяжении и сжатии, получено соотношение для расчета отношения высоты поверхностных волн после гашения к высоте волн при чистой воде [12, 17]. Поскольку при гашении поверхностного волнения энергия, передаваемая от ветра поверхностным волнам уменьшается, указанные соотношения определяют минимальный контраст радиолокационных отражений участков водной поверхности, покрытых пленкой нефтепродуктов. Степень гашения поверхностных волн увеличивается при уменьшении их длины.

Радиолокационный контраст нефтяной пленки увеличивается при уменьшении длины волны радиолокатора, а следовательно, и длины поверхностных волн, участвующих в резонансном рассеянии. Например, расчеты, выполненные с учетом указанного выше соотношения, показывают: при длине волны РЛС более 15 см контраст не превышает единиц децибел, при длине волны 5 см составляет 10-16 дБ, а при длине волны 1 см увеличивается до 34-40 дБ. Результаты расчета хорошо согласуются с экспериментальными данными, полученными в натурных условиях при длине радиоволны 3,2 см [8].

Следовательно, наиболее перспективным для обнаружения нефтяных разливов являются радиолокаторы миллиметрового диапазона.

Появление пленки нефтепродуктов на поверхности моря приводит к уменьшению не только интенсивности обратного рассеяния, а также его дисперсии и спектральной плотности флуктуаций. Результаты исследований показывают, что контрасты дисперсий и спектральных плотностей флуктуаций приблизительно соответствуют контрасту средних мощностей [8].

Особенности обнаружения нефтяных разливов при малых углах скольжения. При уменьшении угла скольжения менее нескольких градусов УЭПР быстро убывает. Причем переход от области «плато» к интерференционной области происходит при некотором критическом угле скольжения, значение которого зависит от длины волны и состояния морской поверхности [3, 12]. В этой области углов скольжения существенное влияние приобретают нерезонансные механизмы рассеяния радиоволн. В качестве основных нерезонансных механизмов рассматриваются: дифракция электромагнитных волн на заостренных гребнях поверхностных волн в начальной стадии их обрушения, зеркальные отражения радиоволн от гребней поверхностных волн, рассеяние радиоволн на брызгах и пене, образующихся при обрушении поверхностных волн.

Поскольку уровень резонансного рассеяния для горизонтальной поляризации меньше, влияние нерезонансных механизмов на данной поляризации больше, чем для вертикальной поляризации радиоизлучения, и оно увеличивается при уменьшении угла скольжения. При углах скольжения около 1-3 град. средние уровни обратного рассеяния приблизительно одинаковы для вертикальной и горизонтальной поляризаций. Однако для вертикальной поляризации радиоизлучения в этой области еще существенен вклад резонансного рассеяния, а для горизонтальной поляризации преобладающими являются нерезонансные механизмы, о чем свидетельствуют пики (выбросы) сигналов, связанных с обрушением волн.

При углах скольжения около 0,5 град. нерезонансные механизмы рассеяния становятся основными для обеих поляризаций радиоизлучения, а характеристики рассеяния – приблизительно одинаковыми.

В области малых углов скольжения, когда преобладающими являются нерезонансные механизмы обратного рассеяния радиоволн, к настоящему времени нет аналитически полученных соотношений, позволяющих однозначно описать характеристики обратного радиоизлучения. Это обусловлено сильным влиянием условий наблюдений (состояния моря, направления облучения по отношению к генеральному направлению распространения поверхностных волн и т.п.) на перераспределение вклада различных составляющих этого механизма в суммарную интенсивность обратного рассеяния, а также большим разнообразием самих условий наблюдения.

В этом случае можно воспользоваться эмпирической моделью [3], предложенной на основании экспериментальных исследований закономерностей рассеяния радиоволн сантиметрового и миллиметрового диапазонов (частота радиоволн 10-100 ГГц) при скорости ветра до 15 м/с.

В соответствии с этой моделью УЭПР морской поверхности можно рассчитать по формуле

$$\sigma_o = 7 \cdot 10^4 \left(\frac{f}{f_0} \right)^{0,5} A_\psi A_u A_\alpha + 1,36 \cdot 10^{-18} f^4 \exp(1,4u),$$

где f – частота радиосигнала, ГГц; $f_0 = 10$ ГГц; A_ψ , A_u , A_α – безразмерные множители, учитывающие зависимость УЭПР от угла скольжения ψ , скорости ветра u и угла α между направлениями облучения и генерального распространения волн. Формулы для расчета безразмерных коэффициентов приведены в [3].

В приведенном выражении первое слагаемое определяет вклад в УЭПР обратного рассеяния от морской поверхности, а второе – вклад отражений от брызг, образующихся при обрушении морских волн. Анализ формулы показывает, что УЭПР морской поверхности возрастает при увеличении рабочей частоты РЛС, по крайней мере, пропорционально корню квадратному из частоты. Кроме того, из анализа формул для безразмерных коэффициентов, входящих в приведенную формулу, следует, что они также возрастают при увеличении рабочей частоты РЛС.

Полученные результаты свидетельствуют о целесообразности использования для обнаружения разливов нефтепродуктов РЛС миллиметрового диапазона волн, обеспечивающих большую дальность видимости отражений от поверхностного волнения.

Вероятность образования в районе разлива нефти на морской поверхности крутых заостренных волн и их обрушение практически равна нулю. Следовательно, при появлении на морской поверхности нефтяной пленки формирование в области слика элементов, ответственных за нерезонансный механизм рассеяния, маловероятно. Соответственно и в этой области углов скольжения загрязнение поверхности моря нефтепродуктами приводит к уменьшению уровня обратного рассеяния. В этом случае интенсивность обратного излучения от слика будет определяться высотой погашенных резонансных составляющих поверхностного волнения, следовательно, радиолокационный контраст слика будет не меньше контраста для данных составляющих поверхностных волн в области «плато».

Таким образом, радиолокационный контраст при малых углах скольжения, когда преобладает нерезонансный механизм рассеяния, не менее радиолокационного контраста в области резонансного рассеяния для соответствующих резонансных составляющих поверхностного волнения.

Перспективы использования радиолокаторов, установленных на нефтяных платформах, транспортных судах и в портах для контроля загрязнений водной поверхности нефтепродуктами. В [10] для обнаружения нефтяных пленок на расстоянии от 100 м до нескольких километров от нефтяной платформы предложено использовать специализированный радиолокатор для обнаружения слабоконтрастных неоднородностей поверхностного волнения, имеющий когерентный приемопередатчик. В настоящее время такие радиолокаторы отсутствуют, создание их требует значительных материальных затрат. Кроме того, при использовании радиолокаторов сантиметрового и миллиметрового диапазонов нефтяные разливы могут быть отнесены к неоднородностям морского волнения,



имеющим на радиолокационных изображениях сравнительно высокий контраст. Для повышения контрастности нефтяных разливов на радиолокационных изображениях могут быть использованы накопление информации [6] за несколько оборотов антенны, контрастный прием [12], функциональное преобразование характеристик отраженных радиолокационных сигналов [7, 11].

Наиболее перспективным представляется использование для обнаружения нефтяных разливов навигационных РЛС [6], серийное производство которых осуществляется многие десятилетия и которые установлены на всех транспортных судах.

При работе навигационных РЛС в штатном режиме, обеспечивающем отображение надводной обстановки, отражения от поверхностного волнения рассматриваются как помехи, для уменьшения влияния которых предпринимаются соответствующие меры (временная автоматическая регулировка усиления и др.). Для использования информации, получаемой от навигационного радиолокатора, при обнаружении нефтяных разливов необходимо обеспечить адаптивный режим его работы, соответствующий наблюдению на радиолокационных изображениях отражений от поверхностного волнения. В этом случае для обнаружения нефтяных разливов не требуется создание специализированных радиолокаторов – достаточно разработать специальное программное обеспечение для обработки информации навигационных радиолокаторов с целью выявления нефтяной пленки на морской поверхности.

Важным является выбор рабочей длины волны радиолокатора. Как уже отмечалось, при уменьшении длины радиоволн контраст нефтяной пленки и УЭПР морской поверхности увеличиваются. Следовательно, целесообразно использовать для обнаружения нефтяных разливов навигационные РЛС миллиметрового диапазона (рабочая длина волны около 8,2 мм). Однако радиолокаторы этого диапазона наиболее подвержены влиянию туманов и осадков. Таким образом, наиболее перспективным является совместное использования навигационных радиолокаторов миллиметрового и сантиметрового (рабочая длина волны около 3,2 см) диапазонов.

Дальность обнаружения нефтяной пленки на морской поверхности зависит от высоты установки антенны РЛС и скорости ветра. При расположении антенны на высоте 15-40 м и скорости ветра 2-12 м/с дальность составляет 2-8 км.

Выводы

1. При облучении морской поверхности, близком к вертикальному, контраст снимков не превышает единиц децибел. Для практического использования данной области необходимо разработать методы и алгоритмы обработки отраженных сигналов, обеспечивающих повышение контраста нефтяных пятен на радиолокационных изображениях морской поверхности.

2. Контраст на радиолокационном изображении и дальность обнаружения нефтяных разливов увеличиваются при уменьшении рабочей длины радиолокатора.

3. Радиолокационный контраст при малых углах скольжения, когда преобладает нерезонансный механизм рассеяния радиоволн морской поверхностью, не менее радиолокационного контраста в области резонансного рассеяния (в области «плато»).

4. Наиболее перспективным для радиолокационного мониторинга загрязнений морской поверхности с морских нефтяных платформ и транспортных судов представляется совместное использование навигационных радиолокаторов миллиметрового и сантиметрового диапазонов.

Результаты исследования могут быть использованы для постоянных систематических наблюдений состояния окружающей среды, оперативного обнаружения разливов нефти в районах морских нефтяных платформ, местах загрузки и разгрузки танкеров, а также на морских трассах их следования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аэрокосмический мониторинг объектов нефтегазового комплекса / Под ред. В.Г.Бондура. М.: Научный мир, 2012. 558 с.
2. Басс Ф.Г. Рассеяние волн на статистически неровной поверхности / Ф.Г.Басс, И.М.Фукс. М.: Наука, 1972. 424 с.
3. Гутник В.Г. Особенности обратного рассеяния радиоволн сантиметрового и миллиметрового диапазонов морской поверхностью при малых углах скольжения / В.Г.Гутник, Г.П.Кулемин, Л.И.Шарапов // Успехи современной радиоэлектроники. 2005. № 1. С.3-19.
4. Иванов А.Ю. Снимки и пленочные образования на космических радиолокационных изображениях // Исследование Земли из космоса. 2007. № 3. С.73-96.



5. Источники загрязнения гидросферы нефтью [Электронный ресурс]. URL: <http://biofile.ru/geo/23616.html> (дата обращения 07.07.2015).
6. Обнаружение разливов нефтепродуктов с использованием навигационной РЛС / Н.Т.Ничипоренко, И.Е.Маренич, А.В.Петров, И.Мисюченко, Б.С.Трофимов, И.Е.Ушаков // Судостроение. 2010. № 2. С.39-41.
7. Патент № 2483323 РФ. Способ создания локационного изображения повышенной яркости и контрастности и устройство для его реализации / А.А.Булатов, И.Е.Маренич, И.Л.Мисюченко, Н.Т.Ничипоренко, И.Е.Ушаков, Б.С.Трофимов, В.Г.Яковлев. Оpubl. 27.05.2013. Бюл. № 15.
8. Радиолокационные исследования неоднородностей поверхности океана / А.М.Волков, В.Б.Ефимов, А.С.Курекин, А.П.Пичугин, А.А.Прозоровский // Успехи современной радиоэлектроники. 2003. № 10. С.41-53.
9. Спутниковый радарный мониторинг морей [Электронный ресурс]. URL: http://живая_карта.рф/ru/environment/monitoring/radar/ (дата обращения 07.08.2014).
10. Технология многоуровневого экологического мониторинга в целях информационного обеспечения безопасности морской добычи нефти и газа [Электронный ресурс]. <http://neftegas.ru/scince/view/181> (дата обращения 15.05.2015).
11. Ушаков И.Е. Формирование радиолокационных изображений с использованием функциональных преобразований характеристик отраженных сигналов // Инновации на транспорте и в машиностроении: Сб. тр. III Международной науч.-практич. конференции / Национальный минерально-сырьевой университет «Горный». СПб, 2015. С.103-106.
12. Ушаков И.Е. Радиолокационное зондирование морской поверхности / И.Е.Ушаков, И.Ф.Шишкин. М.: РИЦ «Татьянин день», 1997. 264 с.
13. Череповицын А.Е. Социально-экономический потенциал крупномасштабных проектов освоения нефтегазового шельфа: риски и ожидания заинтересованных сторон // Записки Горного института. 2015. Т.215. С.140-149.
14. Chen Z. A new modulation transfer function for ocean wave spectra retrieval from X-band marine radar imagery / Z.Chen, B.Zhang, Y.He, Z.Qiu, W.Petrie // Chinese of Oceanology and Limnology. 2015. Vol. 33. N 5. P.1132-1141.
15. Salberg A.-B. Oil spill detection in hybrid-polarimetric SAR images / A.-B.Salberg, O.Rudjord, A.H.S.Solberg // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. 2014. Vol.52. N 10. P.6521-6533.
16. Satellites oceanography and society / Ed. by D. Halpern. Elsevier, 2000. 368 p.
17. Shishkin I.F. Radar method of the measuring the degree of the ocean oil product pollution / I.F.Shishkin, I.E.Ushakov // Proc. of the First Symposium of the IMEKO – TC8, 9-1 september, 1981. P.354-367.

Автор И.Е.Ушаков, д-р техн. наук, профессор, kaf_metro@spmi.ru (Санкт-Петербургский горный университет, Россия).
Статья принята к публикации 2.02.2016.

DETECTION OF FLOODS OF OIL PRODUCTS IN THE SEA RADAR-TRACKING MEANS

I.E.USHAKOV

Saint-Petersburg Mining University, Russia

Based on the analysis of patterns of microwave scattering from the sea surface at different angles of irradiation the features of radar detection of oil spills. The prospects of using radar to detect oil spills at oblique irradiation of the sea surface. The features of monitoring oil pollution of the sea surface using a radar located on offshore oil platforms and transport vessels. Variants of contrast enhancement areas of the sea surface covered with oil film on the radar screen. The basic requirements for the radar monitoring of oil pollution.

Key words: flood of oil products, slick, an oil spillage, radar-tracking sounding, radar-tracking contrast.

How to cite this article: Ushakov I.E. Detection of floods of oil products in the sea radar-tracking means. Zapiski Gornogo instituta. 2016. Vol.219, p. 421-427. DOI 10.18454/PMI.2016.3.421

REFERENCES

1. Aerokosmicheskii monitoring ob"ektov neftegazovogo kompleksa (*Aerospace monitoring of oil and gas complex*). Ed. by V.G.Bondura. Moscow: Nauchnyi mir, 2012, p.558.
2. Bass F.G., Fuks I.M. Rasseyaniye voln na statisticheski nerovnoi poverkhnosti (*Wave scattering from statistically rough surfaces*). Moscow: Nauka, 1972, p.424.
3. Gutnik V.G., Kulemin G.P., Sharapov L.I. Osobennosti obratnogo rasseyaniya radiovoln santimetrovogo i millimetrovogo diapazonov morskoi poverkhnost'yu pri malykh uglakh skol'zheniya (*Features backscattering of radio waves in the centimeter and millimeter sea surface at small grazing angles*). Uspekhi sovremennoi radioelektroniki. 2005. N 1, p.3-19.
4. Ivanov A.Yu. Sliki i plenochnye obrazovaniya na kosmicheskikh radiolokatsionnykh izobrazheniyakh (*Slicks Film and education in space radar images*). Issledovanie Zemli iz kosmosa. 2007. N 3, p.73-96.
5. Istochniki zagryazneniya gidrosfery nef't'yu (*Sources of pollution of the hydrosphere oil*) [Electronic resource]. Available at: <http://biofile.ru/geo/23616.html> (date of access 07.07.2015).
6. Nichiporenko N.T., Marenich I.E., Misyuchenko I.L., Petrov A.V., Trofimov B.S., Ushakov I.E. Obnaruzhenie razlivov nefteproduktov s ispol'zovaniem navi-gatsionnoi RLS (*Detection of oil spills using radar navigation*). Sudostroenie. 2010. N 2, p.39-41.
7. Patent N 2483323 RF. Bulatov A.A., Marenich I.E., Misyuchenko I.L., Nichiporenko N.T., Ushakov I.E., Trofimov B.S., Yakovlev V.G. Spособ sozdaniya lokatsionnogo izobrazheniya povyshennoi yarkosti i kontrastnosti i ustroystvo dlya ego realizatsii (*A method of creating radar images enhanced brightness and contrast, and device for its realization*). Opubl. 27.05.2013. Byul. № 15.



8. Volkov A.M., Efimov V.B., Kurekin A.S., Pichugin A.P., Prozorovskii A.A. Radiolokatsionnye issledovaniya neodnorodnosti poverkhnosti okeana (*Radar studies of ocean surface inhomogeneities*). Uspekhi sovremennoy radioelektroniki. 2003. N 10, p.41-53.
9. Sputnikovyi radarnyi monitoring morei (*The satellite radar monitoring of the seas*) [Electronic resource]. Available at: <http://zhivaya.karta.rf/ru/environment/monitoring/radar/> (date of access 07.08.2014).
10. Tekhnologiya mnogourovnevnogo ekologicheskogo monitoringa v tselyakh informatsion-nogo obespecheniya bezopasnosti morskoi dobychi nefti i gaza (*The technology of multi-level environmental monitoring in order to ensure information security of offshore oil and gas*) [Electronic resource]. Available at: <http://neftegas.ru/scince/view/181> (date of access 15.05.2015).
11. Ushakov I.E. Formirovanie radiolokatsionnykh izobrazhenii s ispol'zovaniem funktsional'nykh preobrazovaniy kharakteristik otrazhennykh signalov (*Radar imaging using transformations using functional characteristics of the reflected signal*). Innovatsii na transporte i v mashinostroenii: Sb. tr. III mezhdunarodnoi nauchn.-praktich. Konferentsii. Natsional'nyi mineral'no-syr'evoi universitet «Gornyi». St. Petersburg, 2015, p.103-106.
12. Ushakov I.E., Shishkin I.F. Radiolokatsionnoe zondirovanie morskoi poverkhnosti (*Radar sensing of the sea surface*). Moscow: RITs «Tat'yanin den'», 1997, p.264.
13. Cherepovitsyn A.E. Sotsial'no-ekonomicheskii potentsial krupnomasshtabnykh proektov osvoeniya neftegazovogo shel'fa: riski i ozhidaniya zainteresovannykh storon (*Socio-economic potential of large-scale projects to develop offshore oil and gas: risks and stakeholder expectations*). Zapiski Gornogo instituta. 2015. Vol.215, p.140-149.
14. Chen Z., Zhang B., He Y., Qiu Z., Perrie W. A new modulation transfer function for ocean wave spectra retrieval from X-band marine radar imagery. Chinese of Oceanology and Limnology. 2015. Vol.33. N 5, p.1132-1141.
15. Salberg A.-B., Rudjord O., Solberg A.H.S. Oil spill detection in hybrid-polarimetric SAR images. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. 2014. Vol.52. N 10, p.6521-6533.
16. Satellites oceanography and society / Ed. by D.Halpern. Elsevier, 2000. 368 p.
17. Shishkin I.F., Ushakov I.E. Radar method of the measuring the degree of the ocean oil product pollution. Proc. of the First Symposium of the IMEKO – TC8, 9-1 september, 1981, p.354-367.

Author I.E.Ushakov, Dr. of Engineering Sciences, Professor, kaf_metro@spmi.ru (Saint-Petersburg Mining University, Russia).
Manuscript Accepted 2.02.2016.