

ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ АТМОСФЕРЫ И ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ

УДК 551.501

М.Л. Белов, В.А. Городничев, В.И. Козинцев

ОЦЕНКА ЛАЗЕРНЫХ ЛОКАЦИОННЫХ КОНТРАСТОВ «НЕФТЯНАЯ ПЛЕНКА – ЧИСТАЯ МОРСКАЯ ПОВЕРХНОСТЬ» НА ДЛИНЕ ВОЛНЫ 10,6 мкм

НИИ радиоэлектроники и лазерной техники
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Поступила в редакцию 11.12.98 г.

Принята к печати 15.12.98 г.

Исследован контраст «нефтяная пленка – чистая морская поверхность» при лазерном импульсном зондировании морской поверхности в среднем инфракрасном диапазоне на длине волны 10,6 мкм в широком диапазоне скоростей приводного ветра, включая большие скорости приводного ветра, когда на морской поверхности появляется пена. Для моностатического зондирования получена формула для лазерного локационного контраста «нефтяная пленка – чистая морская поверхность». Показано, что контраст для длины волны 10,6 мкм не только больше контраста для длины волны 1,06 мкм, но и имеет другую зависимость от скорости приводного ветра.

Актуальной задачей экологического мониторинга является контроль акваторий с целью обнаружения пленок нефтепродуктов на поверхности воды. Особенно актуальна в России проблема экологического мониторинга для шельфовых зон, которые подвержены высокой опасности загрязнения [1].

В работе [2] исследовался контраст «нефтяная пленка – чистая морская поверхность» при импульсном зондировании нефтяных загрязнений на морской поверхности в ближнем инфракрасном диапазоне на длине волны 1,06 мкм. В [3–5] этот контраст рассматривался при длине волны 10,6 мкм, при непрерывном облучении и небольших скоростях приводного слоя. В данной статье контраст рассматривается при импульсном зондировании в среднем инфракрасном диапазоне на длине волны 10,6 мкм в широком диапазоне скоростей приводного ветра, включая большие скорости приводного ветра, когда на морской поверхности появляется пена.

Длина волны 10,6 мкм является весьма перспективной для получения максимального контраста «нефтяная пленка – чистая морская поверхность» с точки зрения спектрального хода коэффициентов отражения чистой воды и нефти. Анализ спектральной зависимости «нефть–вода» [3, 4], рассчитанной для невозмущенной волнением поверхности воды, покрытой толстой пленкой нефти, показывает, что контраст «нефть–вода» максимален именно в области 8–12 мкм.

Определим величину локационного контраста «нефтяная пленка – чистая морская поверхность» в случае импульсного зондирования следующим образом:

$$K = P_{oil}/P_{max},$$

где K – контраст «нефтяная пленка – чистая морская поверхность»; P_{oil} , P_{max} – мощности эхосигналов от морской поверхности, покрытой пленкой нефти, и морской поверхности без пленки нефти в моменты максимумов регистрируемых эхосигналов.

Используя выражение для средней мощности эхосигнала, регистрируемой приемником лидара при импульсном облучении морской поверхности [6], можно получить следующее выражение для оценки контраста K при наклонном моностатическом зондировании морской поверхности:

$$K = (V_2^2 \exp(-0,5 q_x^2 / (q_z^2 \gamma_{2x}^2)) / (8\pi(\gamma_{2x}^2 \gamma_{2y}^2)^{1/2}) \times \{ (1 - S_f) V_1^2 \exp(-0,5 q_x^2 / (q_z^2 \gamma_{1x}^2)) / (8\pi(\gamma_{1x}^2 \gamma_{1y}^2)^{1/2}) + S_f A_1 \cos^2 \theta / \pi \}^{-1} \times \left[\frac{\tau^2 c^2 / 16 + 2\sigma_1^2 + \sin^2 \theta / (C_s + C_r)}{\tau^2 c^2 / 16 + 2\sigma_2^2 + \sin^2 \theta / (C_s + C_r)} \right]^{1/2}, \quad (1)$$

где $q_x = 2 \sin \theta$; $q_z = 2 \cos \theta$; σ^2 , γ_{xy}^2 – дисперсии высот и наклонов морской поверхности; V^2 – коэффициент Френеля для плоской морской поверхности при вертикальном зондировании; τ – длительность зондирующего импульса; S_f – доля поверхности моря, покрытой пеной; θ – угол зондирования (между направлением оптической оси лидара и направлением в надира); A – альbedo элементарного участка морской поверхности, покрытой пеной; $C_{s,r} = (\alpha_{s,r} L)^{-2}$ (для прозрачной аэрозольной атмосферы); $2\alpha_{s,r}$ – угол расходимости источника и угол поля зрения приемника; L – расстояние от лидара до морской поверхности.

Величины V , A , γ , σ с индексом 1 относятся к морской поверхности без пленки нефти, с индексом 2 – к морской поверхности, покрытой нефтяной пленкой.

При получении формулы (1) считалось, что $\theta \ll 1$ и $\alpha_{s,r}^2 \ll \gamma_{xy}^2$, θ^2 .

Формула (1) обобщает выражение для контраста, полученное в [2]. Она не требует условия $\theta \ll (\tau c / 4) (C_s + C_r)^{1/2}$, при котором справедливы результаты [2].

Для длины волны зондирования 10,6 мкм на рис. 1, 2 приведены угловые зависимости контраста K при различной скорости приводного ветра U . Расчеты проводились по формуле (1) при следующих значениях параметров: $\tau = 10^{-12}$ с (см. рис. 1); $\tau = 10^{-8}$ с (см. рис. 2); $\alpha_s = 1$ мрад; $\alpha_r = 2$ мрад; $L = 3$ км; $l - U = 2$ м/с; 2 – 6; 3 – 10; 4 – 14; 5 – 18 м/с.

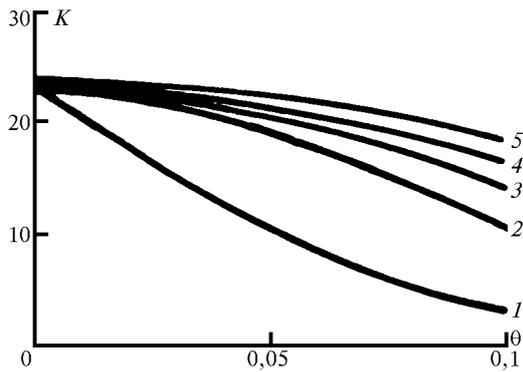


Рис. 1. Угловая зависимость контраста K . $\tau = 10^{-12}$ с

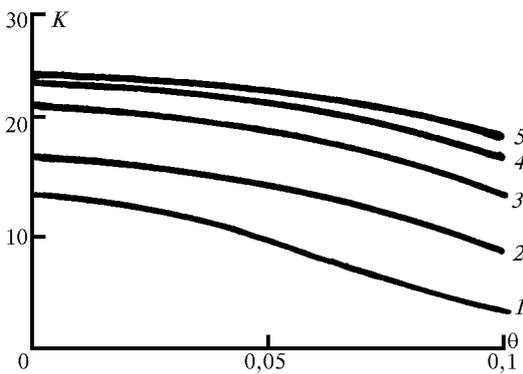


Рис. 2. Угловая зависимость контраста K . $\tau = 10^{-8}$ с

При расчетах учитывалось, что нефтяная пленка сглаживает морское волнение и имеет другой коэффициент отражения. Как и в работе [3], принималось (основываясь на результатах Кокса и Манка [7]), что при нефтяных пленках закон распределения наклонов морской поверхности остается нормальным, но дисперсия наклонов уменьшается в 3 раза. Принималось также, что при нефтяных пленках и дисперсия высот σ^2 уменьшается в 3 раза. Для длины волны зондирования 10,6 мкм $V_1^2 \cong 0,009$, $V_2^2 \cong 0,04$ [3].

Величины γ_{1x}^2 , γ_{1y}^2 рассчитывались по формулам Кокса и Манка [7]:

$$\gamma_{1x}^2 = 0,003 + 1,92 \cdot 10^{-3} U; \quad \gamma_{1y}^2 = 3,16 \cdot 10^{-3} U,$$

а для величин σ_1^2, S_f использовались следующие формулы [8,9]:

$$\sigma_1 = 0,016 U^2;$$

$$S_f = 0,009 U^3 - 0,3296 U^2 + 4,549 U - 21,33,$$

где U – скорость приводного ветра, м/с.

При расчетах принималось, что для длины волны 10,6 мкм коэффициент отражения морской поверхности не зависит от наличия пены (в окне 8–13 мкм по данным [10] появление пены на морской поверхности практически не сказывается на тепловом излучении моря).

Анализ рисунков позволяет сделать следующие выводы:

1. Контраст K для длины волны 10,6 мкм не только больше контраста для длины волны 1,06 мкм, но и имеет другую зависимость от скорости приводного ветра.

2. При высоких скоростях приводного ветра, когда на поверхности моря появляется пена, в отличие от зондирования на длине волны 1,06 мкм (где контраст сильно уменьшается с возрастанием скорости приводного ветра) контраст для длины волны 10,6 мкм возрастает.

3. Как и для длины волны 1,06 мкм, контраст K для длины волны 10,6 мкм зависит от длительности зондирующего импульса, а увеличение скорости приводного ветра приводит к заметному ослаблению зависимости контраста от угла зондирования.

1. Израэль Ю.А., Цыбань А.В., Панов Г.В. и др. // Метеорология и гидрология. 1995. № 9. С. 6–21.
2. Белов М.Л., Городничев В.А. // Оптика атмосферы и океана. 1996. Т. 9. № 8. С. 1126–1130.
3. Гардашиев Р.Г., Гуревич И.Я., Шифрин К.С. // Оптика атмосферы и океана. Баку: ЭЛИМ, 1983. С. 33–44.
4. Кропоткин М.А., Шевелева Т.Ю. // Оптические методы изучения океанов и внутренних водоемов. Новосибирск: Наука, 1979. С. 188–192.
5. Гуревич И.Я., Шифрин К.С. // Известия АН СССР. Сер. ФАО. 1976. Т. 12. № 8. С. 863–867.
6. Белов М.Л., Орлов В.М. // Оптика атмосферы и океана. 1992. Т. 5. № 3. С. 300–308.
7. Cox C., Munk W. // Scripps. Inst. Oceanography. Bull. 1956. V. 6. N 9. P. 401–488.
8. Tsai B.M., Gardner C.S. // Appl. Opt. 1982. V. 21. N 21. P. 3932–3240.
9. Бортковский П.С. // Метеорология и гидрология. 1987. № 5. С. 68–76.
10. Бычкова И.А., Викторов С.В., Виноградов В.В. Дистанционное определение температуры моря. Л.: Гидрометеоздат, 1988. 223 с.

M.L. Belov, V.A. Gorodnichev, V.I. Kozintsev. Lidar Contrasts «Oil Film – Clear Sea Surface» at Wavelength of 10.6 μ m.

A contrast «oil film – clear sea surface» in the laser sounding of sea surface at 10.6 μ m wavelength is considered in the paper for wide range of wind velocities including the increased ones, when there is a foam on the sea surface. An analytical expression is obtained for the case of monostatic laser sounding. It is shown, that the contrast at 10.6 μ m wavelength not only exceeds the contrast at 1.06 μ m but also depends otherwise on the wind velocity.