

Диэлектрическая проницаемость пленочного слоя морской поверхности по дистанционным измерениям собственных излучений морской поверхности и атмосферы в ИК-диапазоне

И.Т. Бубукин, К.С. Станкевич

Федеральное государственное научное учреждение "Научно-исследовательский радиофизический институт" 603950, г. Нижний Новгород. Большая Печерская ул, д. 25/12а,
E-mail: bubn@nirfi.sci-nnov.ru, stnk@nirfi.sci-nnov.ru

В натуральных условиях определена диэлектрическая проницаемость морской поверхности в скин-слое ИК-диапазона. Обнаружено, что в натуральных условиях диэлектрическая проницаемость пленочного слоя изменчива и меньше величины, полученной для морской воды в лабораторных измерениях, которую используют в стандартных методиках определения температурных полей океана. Полученные данные натурных измерений интерпретированы в модели статистической смеси воды и микропузырьков воздуха, формирующейся под пленкой поверхностного натяжения.

In natural conditions determined the dielectric constant of the sea surface in the skin layer of IR. We found that in natural conditions the dielectric constant of the film layer is variable and less than the value obtained for sea water in laboratory measurements, which is used in the standard method of determining the temperature fields of the ocean. The data of field measurements interpreted in a model of statistical mixture of water and micro bubbles of air, forming a film of surface tension.

Введение

Температурная пленка граничит с атмосферой и через нее идут интенсивные процессы газообмена между атмосферой и морем, и в ней максимальная концентрация растворенных атмосферных газов. Поэтому диэлектрическая проницаемость воды в верхнем слое температурной пленки должна отличаться от диэлектрической проницаемости воды на больших глубинах. В существующих моделях диэлектрической проницаемости морской воды влияние газовых концентраций не учитывается, в лабораторных экспериментах динамические процессы массопереноса не воспроизводятся.

Результаты натурных измерений диэлектрической проницаемости поверхностного слоя морской поверхности в ИК-диапазоне, роль газовой составляющей

В [1] описан метод одновременного определения диэлектрической проницаемости, температуры и волнового состояния морской поверхности по измерениям собственных излучений морской поверхности и атмосферы в ИК-диапазоне. Метод основан на линейной функциональной зависимости между интенсивностями излучений моря и атмосферы, совокупность измеренных абсолютных величин которых образуют корреляционную зависимость, наклон которой определяет коэффициент отражения морской поверхности в натуральных условиях. В результате было получено экспериментальное значение диэлектрической проницаемости воды в скин-слое в натуральных условиях при ветровом волнении: $\varepsilon_{\text{экс}} = 1.32 - i \cdot 0.38$ [1] или $n_s = 1.16$ и $n'_s = 0.164$ - действительная и мнимая части комплексного показателя преломления. Данное значение относится к длине волны $\lambda = 11 \text{ мкм}$. Диэлектрическая проницаемость чистой воды на этой длине волны равна $\varepsilon_{\text{экс}} = 1.398 - i \cdot 0.492$ [2].

Полученное значение комплексной диэлектрической проницаемости морской воды отличается от диэлектрических проницаемостей, измеренных для чистой воды. Среди

факторов, обуславливающих оптические свойства морской воды, упоминаются присутствующие в воде пузырьки воздуха, которые в заметном количестве наблюдаются только в самом верхнем слое моря. Если радиус пузырьков много меньше капиллярной постоянной, то всплывая, они удерживаются силой поверхностного натяжения воды. В результате, при малых скоростях ветра (<5м/с) под пленкой поверхностного натяжения формируется статистическая смесь воды и микропузырьков воздуха, заполняющий, по крайней мере, слой, излучающий в ИК-диапазоне. Комплексная диэлектрическая проницаемость статистической смеси определяется из уравнения [3]:

$$\sum_{i=1}^2 \frac{\varepsilon_i - \varepsilon_{см}}{\varepsilon_i + 2\varepsilon_{см}} \rho_i = 0,$$

где ε_i - комплексные диэлектрические проницаемости воды и воздуха и объемная концентрация воды $\rho_1 = \rho$ и воздуха $\rho_2 = 1 - \rho$.

Спектральные значения диэлектрической проницаемости чистой воды, необходимые для расчетов в полосе 8-14 мкм, приведены в [2]. Используя вычисленные для различных ρ спектральные значения комплексной диэлектрической проницаемости статистической смеси $\varepsilon_{см}(\lambda, \rho)$, по формулам Френеля на каждой длине волны λ в пределах полосы прибора были вычислены величины $R_{FT}(\lambda, \rho, \theta)$ коэффициентов отражения в зависимости от угла визирования θ . Для сопоставления с результатами натурального эксперимента величины $R_{FT}(\lambda, \rho, \theta)$, в которых ρ задавался как параметр, были усреднены по спектру излучения в полосе прибора 8-14 мкм. Критерием выбора из всех значений ρ являлся минимум среднеквадратичного отклонения S_0^2 зависимости измеренных коэффициентов отражения $R_F(\theta)$ от $R_{FT}(\rho, \theta)$ (вычисленных по формулам Френеля и усредненных по полосе прибора) от линейной. Наилучшее совпадение с данными эксперимента [1] было получено при объемной концентрации смеси, содержащей 80% воды.

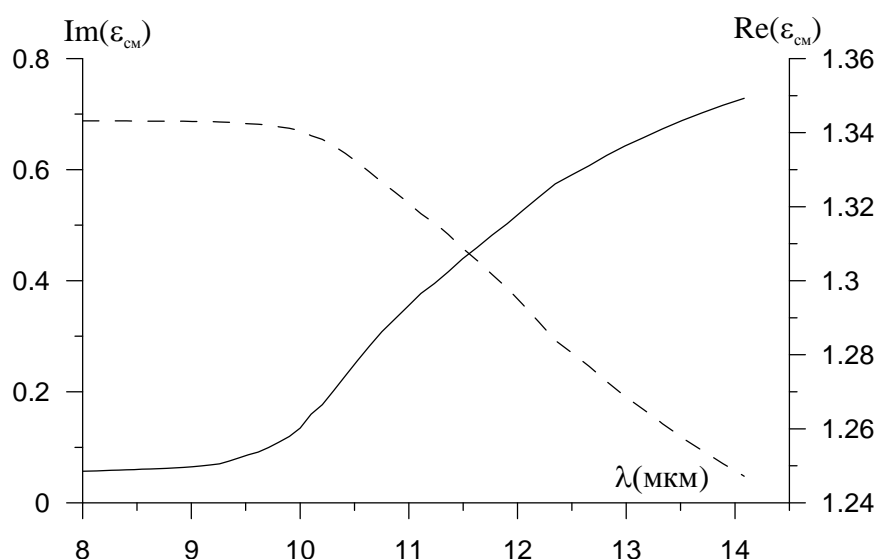


Рис. 1. Спектральные величины действительной $Re(\varepsilon_{см})$ (пунктир) и мнимой частей $Im(\varepsilon_{см})$ (сплошная) комплексной диэлектрической проницаемости, вычисленные для статистической смеси воды и микропузырьков воздуха при объемной концентрации воды $\rho=0.8$

На графике рис.1 приведены спектральные величины действительной $\text{Re}(\epsilon_{cm})$ и мнимой частей $\text{Im}(\epsilon_{cm})$ комплексной диэлектрической проницаемости, вычисленные для статистической смеси воды и микропузырьков воздуха при объемной концентрации $\rho=0.8$.

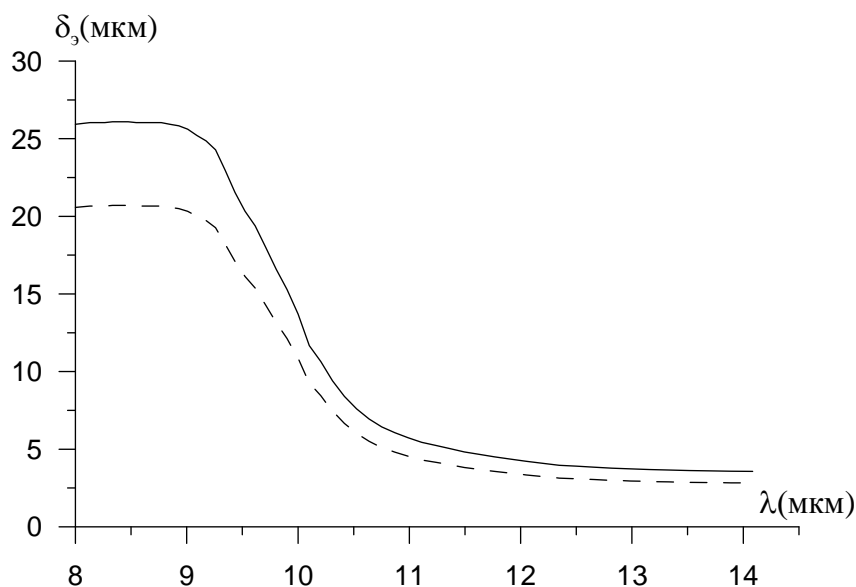


Рис. 2. Толщина скин-слоя δ_3 для статистической смеси воды и микропузырьков воздуха при объемной концентрации воды $\rho=0.8$ (сплошная) и чистой воды (пунктир)

На основании спектральных величин комплексной диэлектрической проницаемости, для статистической смеси воды и микропузырьков воздуха при объемной концентрации воды $\rho=0.8$ вычислено спектральное распределение по полосе толщины скин-слоя δ_3 . На рис. 2 нанесены сплошная кривая - δ_3 и пунктиром для сравнения приведена толщина скин-слоя в чистой воде. Таким образом, по данным натурального эксперимента скин-слой пленочного слоя морской поверхности имел толщину на 20-25% большую, чем определенный в лабораторном эксперименте для чистой воды.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и правительства Нижегородской области (проект № 08-02-97019).

Литература

1. Бубукин И.Т., Станкевич К.С. Одновременное определение диэлектрических свойств морской поверхности, ее волнового состояния и температуры воды в скин-слое по дистанционным измерениям собственных излучений морской поверхности и атмосферы в ИК-диапазоне // Труды III Всероссийской научной конференции Сверхширокополосные сигналы в радиолокации, связи и акустике 28 июня-1 июля 2010 г., Муром. Труды, в данном сборнике.
2. Кодратьев К.Я., Бургов М.П., Гайнулин И.Ф., Тотунова Г.Ф. Инфракрасный спектр поглощения жидкой воды // "Проблемы физики атмосферы". сб.2. Изд. Ленинград. университета. -1963.- С.87-112.
3. Оделевский В.И. Расчёт обобщённой проводимости гетерогенных систем. II Статистические смеси невытянутых частиц.// Журнал технической физики.- 1951.- Т.21.- В.6.- С.678-685.