

Дистанционное зондирование скоплений фитопланктона на морской поверхности в микроволновом диапазоне

Е.И. Скворцов¹, М.Д. Раев¹, М.Г. Булатов¹, Е.А. Шарков¹, В.А. Силкин^{1,2}

¹ *Институт космических исследований РАН
117997 Москва, ул. Профсоюзная, 84/32*

² *Южное отделение Института океанологии им. П.П. Ширшова
353460 Краснодарский край, г. Геленджик-7*

Получено экспериментальное подтверждение образования под действием потока газовых пузырьков плёнки на водной поверхности, состоящей из микроводорослей фитопланктона и влияющей на характеристики отражённых сигналов в микроволновом диапазоне. Показано, что поток всплывающих воздушных пузырьков (диаметр 0,1–1 мм) приводит к значительному увеличению концентрации клеток фитопланктона в приповерхностном слое воды. В лабораторных экспериментах по изучению характеристик микроволновых сигналов 8-мм диапазона, отражённых от взволнованной водной поверхности, измерены значения радиолокационных контрастов и сдвигов доплеровских частот в зависимости от биофизических характеристик фитопланктона.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, фитопланктон, воздушные пузырьки, радиолокационный контраст.

Введение

При соприкосновении воздушного пузырька с гидрофобной частью клетки фитопланктона силами поверхностного натяжения стягивается плёнка воды и происходит присоединение клетки фитопланктона к пузырьку. Далее клетка всплывает вместе с пузырьком, и после разрушения последнего остаётся в пограничном слое воды. Такой процесс увеличения концентрации клеток фитопланктона должен приводить к изменению электрофизических параметров приповерхностного слоя, что в свою очередь должно изменять характеристики отражённых сигналов в микроволновом диапазоне. При большом количестве мелких (менее 1 мм) медленно всплывающих пузырьков, (возникающих, например, при прохождении крупнотоннажных судов с осадкой 10–15 м) на морской поверхности будет образовываться плёнка из планктона и продуктов его жизнедеятельности, достаточная для заметного гашения гравитационно-капиллярных волн и образования выглаженных полос-сликов.

Для проверки эффективности такого механизма образования плёнки и исследования возможности обнаружения её микроволновыми радиолокационными методами был проведён ряд экспериментов, в которых:

1) сделана попытка установить взаимосвязь между поверхностной концентрацией фитопланктона и характеристиками микроволновых сигналов 8-мм диапазона, отражённых от взволнованной водной поверхности;

2) исследовано воздействие потока всплывающих воздушных пузырьков (диаметр 0,1–1 мм) на концентрацию клеток фитопланктона в приповерхностном слое и, как следствие, на изменение характеристик отражённых сигналов микроволнового диапазона.

Методика эксперимента

Лабораторная установка (рис. 1) включала в себя когерентный двухполяризационный скаттерометр 8-мм диапазона, ванну размером 1,2×1,2×0,3 м и вентилятор создающий воздушный

поток со скоростью 2–4 м/с для возбуждения ряби на водной поверхности. На дне ванны был расположен генератор воздушных пузырьков, состоящий из решётки трубок из мелкопористой резины подсоединённых к компрессору. Размеры генерируемых воздушных пузырьков находились в пределах 0,1–1 мм. В ходе экспериментов измерялся радиолокационный контраст (отношение мощностей сигналов, отражённых от чистой водной поверхности и поверхности покрытой плёнкой фитопланктона) и сдвиг доплеровских частот в зависимости от концентрации биомассы и её видового состава. Все измерения производились на угле зондирования 45°.

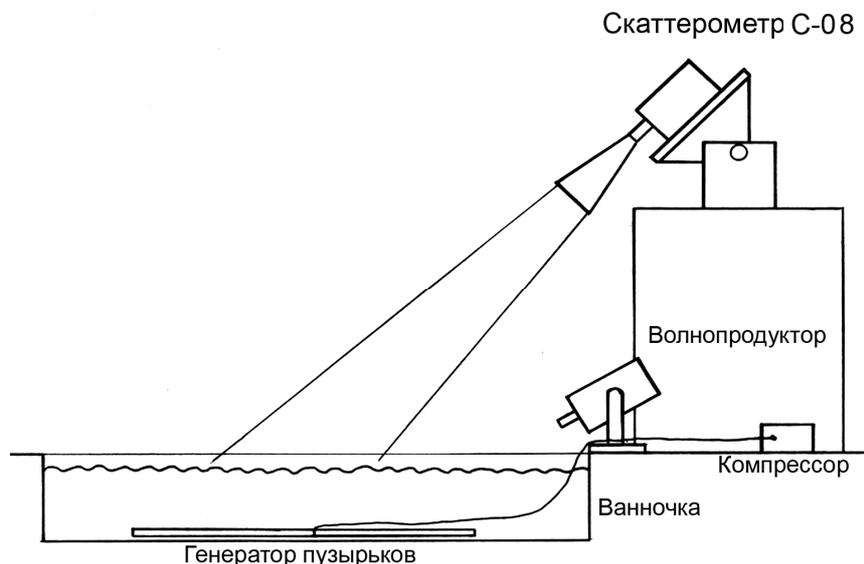


Рис. 1. Схема лабораторной установки

В качестве материала использовалась морская вода с естественными популяциями фитопланктона, сложившимися в море на момент эксперимента. Для удаления зоопланктона и простейших вода фильтровалась через два слоя мельничного газа № 36. Для усиления роста естественной популяции фитопланктона в колбы производилась периодическая добавка элементов минерального питания: нитратов и фосфатов. Контроль концентрации клеток фитопланктона производился под микроскопом путем подсчёта числа клеток водорослей в счётной камере Ножотта объёмом 0,05 мл. В пробе учитывались водоросли всех систематических и размерных групп за исключением фракции пикопланктона (размеры 1–2 мкм), вклад которых в общую биомассу не превышал 1 %. Зная удельный вес клеток, средний объём и численность клеток каждого вида определяли концентрацию биомассы в приповерхностном слое воды.

Для первой серии экспериментов была получена смешанная культура водорослей фитопланктона в которой примерно в равных пропорциях доминирующими видами были диатомовые водоросли 5 видов (*Chaetoceros curvisetus*, *Pseudo-nitzschia pseudodelicatissima*, *Pseudosolenia calcar-avis*, *Cylindrotheca closterium* и *Dactyliosolen fragilissimus*). Самые мелкие — цилиндрические клетки диаметром 4–5 мкм и длиной 8–15 мкм, самые крупные — диаметром 100 мкм и длиной до 0,5 мм.

Во второй серии экспериментов лидирующее положение по биомассе (свыше 90 %) занимала диатомовая водоросль *Dactyliosolen fragilissimus*, клетки которой образовывали цепочки. Количество клеток в цепочке иногда превышало 100. При этом максимальная длина таких биологических структур достигала 1 мм.

В третьей серии экспериментов доминирующими были виды с небольшой длиной цепочек (*Skeletonema costatum*, *Ceratauluna pelagica*), либо виды не способные образовать цепи (*Emiliania huxleyi*).

Каждая серия экспериментов проходила в два этапа. Вначале раствор с определённой величиной биомассы микроводорослей фитопланктона равномерно наносился на поверхность воды в ванне. Определялась концентрация фитопланктона в приповерхностном водном слое и далее измерялись уровень отражённого сигнала и спектр доплеровских частот. Концентрация биомассы в верхнем слое составляла в первых двух сериях экспериментов 1,8–2,15 мг/л, в третьей серии 0,75 мг/л.

По мере того как под действием дрейфового течения создаваемого воздушным потоком плёнка сносилась из области антенного пятна к стенке ванны интенсивность отражённого сигнала увеличивалась и возвращалась к фоновому значению, соответствующему отражению от чистой поверхности (рис. 2). После этого выполнялся ещё один замер биомассы в приповерхностном слое воды.

На втором этапе вода в ванне тщательно перемешивалась. Концентрация планктона, как в приповерхностном слое, так и по всему объёму воды уменьшалась до 0,2–0,3 мг/л. Далее включался компрессор и в течении 15–20 мин генерировался поток всплывающих пузырьков воздуха диаметром 0,1–1,0 мм, равномерно распределённого по всему объёму ванны. После выключения компрессора вновь измерялись концентрация клеток фитопланктона в приповерхностном слое и характеристики отражённых микроволновых сигналов.

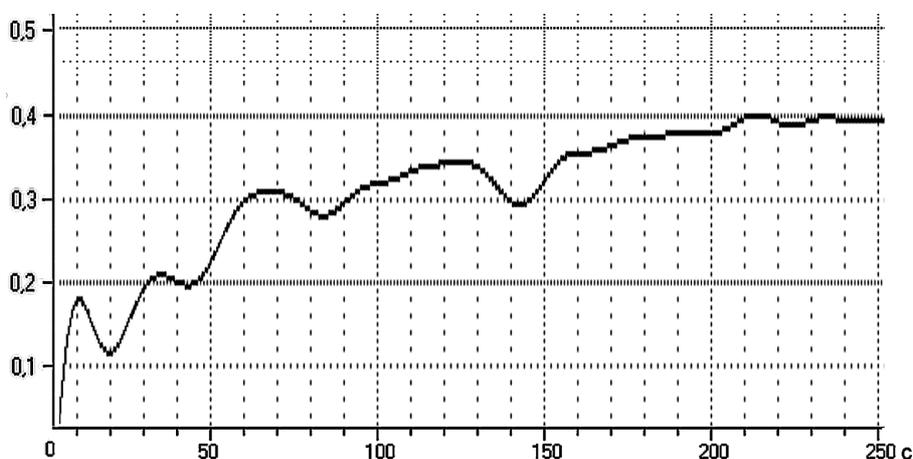


Рис. 2. Изменение уровня отраженного сигнала

После проведения измерений рассчитывались значения радиолокационных контрастов и соответствующие сдвиги центральных частот доплеровских спектров.

Результаты экспериментов

После 15–20-мин воздействия потока всплывающих воздушных пузырьков малого диаметра во всех сериях экспериментов наблюдалось увеличение концентрации биомассы фитопланктона в приповерхностном слое с 0,2–0,3 до 1,6–1,8 мг/л. Разность между расчётными (2,15–2,2 мг/л) и фактически полученными значениями объясняется, по-видимому, тем, что из-за ограниченных размеров генератора пузырьков (он занимал примерно $\frac{3}{4}$ площади дна ванны) не все клетки фитопланктона могли быть захвачены пузырьками и вынесены в приповерхностный слой воды.

На рис. 3 представлены результаты измерений контрастов отражённых сигналов в зависимости от концентрации микроводорослей фитопланктона. Каждая точка на графике представляла среднее по 3–5 значениям, полученным в ходе экспериментов. Минимальная концентрация биомассы в приповерхностном слое, оказывающая влияние на параметры капиллярных волн и регистрируемая скаттерометром, составила 0,4–0,5 мг/л.

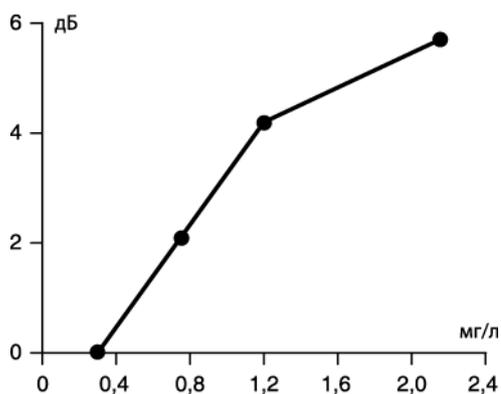


Рис. 3. Зависимость контрастов от концентрации фитопланктона

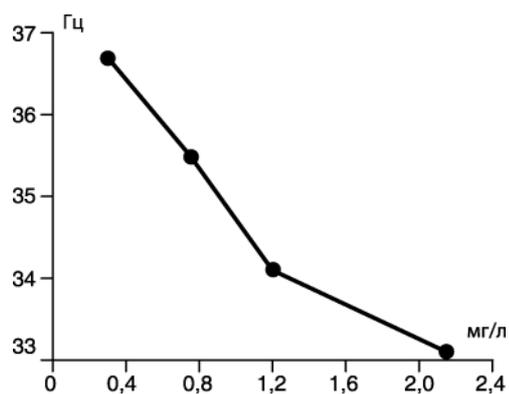


Рис. 4. Зависимость доплеровского сдвига частоты от концентрации фитопланктона

Средний сдвиг доплеровских частот отражённого сигнала, обусловленный изменением фазовой скорости брэгговских волн, существенно определялся концентрации биомассы (рис. 4).

Следует также заметить, что хотя в каждой из трёх серий экспериментов использовались различные по видовому составу и сильно отличающиеся по форме и размерам клетки фитопланктона, это обстоятельство не оказало заметного влияния на результаты экспериментов, и решающим фактором оставалась общая концентрация биомассы.

Выводы

Приведены первые результаты обработки данных трёх серий экспериментов по дистанционному зондированию в 8-мм диапазоне плёнки фитопланктона на водной поверхности, образованной потоком всплывающих воздушных пузырьков.

Показано, что подводный поток мелких газовых пузырьков увеличивает концентрацию клеток фитопланктона в приповерхностном слое воды, что в свою очередь приводит к заметному гашению капиллярных волн на поверхности и изменению характеристик отражённых сигналов.

Установлено, что существует зависимость мощности и сдвига доплеровских частот отражённого сигнала от концентрации биомассы фитопланктона в приповерхностном слое воды. При этом форма и размеры клеток не оказывали заметного влияния на исследуемые характеристики.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 08-02-00057.

Литература

1. Лапшин В.Б. Поверхностный микрослой океана. Физические свойства и процессы: Автореф. дис. д-ра физ.-мат. Наук. М., 1999. 56 с.

Remote Sounding of Congestions of a Phytoplankton on a Sea Surface in a Microwave range. Preliminary Results

E.I. Skvortsov¹, M.D. Raev¹, M.G. Bulatov¹, E.A. Sharkov¹, V.A. Silkin²

¹ *Space Research Institute of RAS*

E-mail: jskvor@iki.rssi.ru

² *The Southern Branch of the P.P. Shirshov Institute of Oceanology of the RAS*

Experimental corroboration of formation under the influence of a stream of gas bubbles of a film on the water table consisting of micro seaweed of a phytoplankton and influencing the characteristics of reflected signals in a microwave range is got. It is shown, that the stream of emerging air bubbles (diameter 0.1–1 mm) leads to substantial growth of concentration of cells of a phytoplankton in near-surface layer of water. In laboratory experiments on studying of characteristics of microwave signals of 8-mm of the range reflected from an rough water surface, values of radar contrasts and Doppler frequency shift depending on biophysical characteristics of a phytoplankton are measured.

Keywords: remote sensing, phytoplankton, air bubbles, radar contrasts.