

динат. Например, если задана функция  $z_0 = Bv_0$  такая, что решение уравнения (1) из априорных соотношений следует искать в окрестности  $z_0$ , то метод соответствующим образом должен быть изменен.

Случай, когда операторы  $A$  и  $B$  заданы с ошибками, будет рассмотрен в последующих публикациях.

Статья написана во время научной командировки первого автора в г. Зиген (Германия) при финансовой поддержке Немецкого научно-исследовательского общества (DFG) (грант 436 RUS 17/61/98). Работа поддержана также программой «Университеты России — фундаментальные исследования» (грант 4-5220).

#### Литература

1. Тихонов А.Н., Гончарский А.В., Степанов В.В., Ягола А.Г. Численные методы решения некорректных задач. М., 1990.
2. Тихонов А.Н., Леонов А.С., Ягола А.Г. Нелинейные некорректные задачи. М., 1995.
3. Будаков Б.М., Виньоли А., Гапоненко Ю.Л. // ДАН СССР. 1969. 184. С. 12.
4. Бакушинский А.Б., Гончарский А.В. Итеративные методы в некорректных задачах. М., 1989.
5. Leonov A.S., Yagola A.G. // Inverse Problems. 1998. 14. P. 1539.

6. Винокуров В.А., Гапоненко Ю.Л. // ДАН СССР. 1982. 263. С. 277.
7. Танава В.П., Рекант М.А., Яценко С.И. Оптимизация методов решения операторных уравнений. Свердловск, 1987.
8. Вайникко Г.М. Методы решения линейных некорректно поставленных задач в гильбертовых пространствах. Тарту, 1982.
9. Вайникко Г.М., Веретенников А.Ю. Итерационные процедуры в некорректных задачах. М., 1986.
10. Groetsch C.W. The Theory of Tikhonov Regularization for Fredholm Equations of the First Kind. Boston, MA, 1984.
11. Engl H.W., Hanke M., Neubauer A. Regularization of Inverse Problems. Dordrecht, 1996.
12. Леонов А.С., Ягола А.Г. // Вестн. Моск. ун-та. Физ. Астрон. 1998. № 2. С. 62 (Moscow University Phys. Bull. 1998. No. 2. P. 75).
13. Леонов А.С., Ягола А.Г. // Журн. фундам. и прикл. математики. 1998. 4, № 3. С. 1029.
14. Рисс Ф., Сёкефальди-Надь Б. Лекции по функциональному анализу. М., 1979.

Поступила в редакцию  
30.12.98

#### ГЕОФИЗИКА

УДК 551.465.63

### ВЛИЯНИЕ ВЗВЕСЕЙ НА ИЗМЕНЕНИЕ ТЕПЛОМАССОБМЕНА МЕЖДУ ОКЕАНОМ И АТМОСФЕРОЙ

Ю. Г. Смирнова, Е. В. Караваева, Г. Г. Хунджау

(кафедра физики атмосферы)

**Лабораторные исследования показали, что потоки тепла с поверхности существенно зависят от наличия взвесей в воде.**

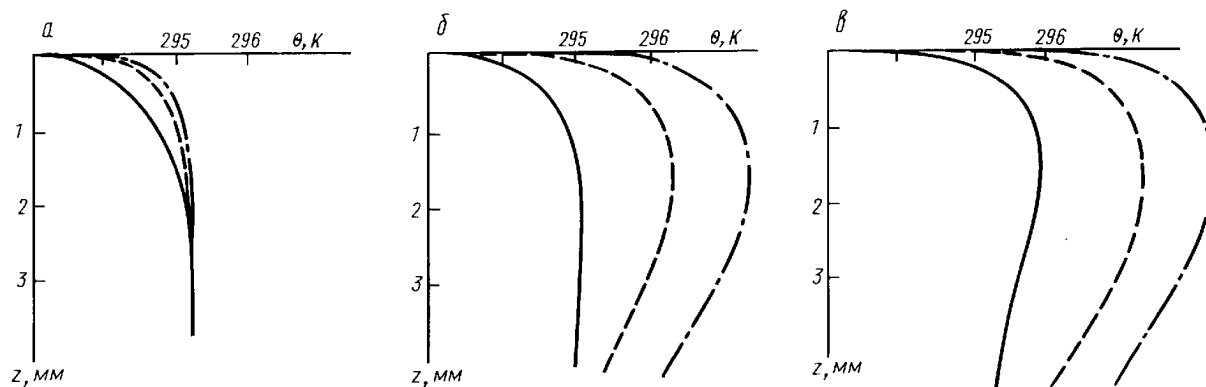
Известно, что в результате объемного поглощения солнечной радиации и турбулентного перемешивания в океане формируется квазиоднородный поверхностный слой (толщиной  $\sim 100$  м), служащий тепловым резервуаром для всех процессов теплообмена в системе океан–атмосфера. Сами же процессы теплообмена (испарение, ИК-излучение и контактный теплообмен) имеют место практически на поверхности океана, в слое толщиной  $\sim 10$  мкм (так называемый радиационный слой), формируя значительные градиенты температуры на границе раздела фаз.

Испарение и последующая конденсация водяного пара являются основными факторами в теплообмене между океаном и атмосферой и в формировании погоды и климата на Земле. Температура поверхности океана (ТПО) в соответствии с уравнением Клапейрона–Клаузиуса, которое связывает скорость изменения давления насыщенных паров у поверхности с поверхностной температурой, определяет

интенсивность процессов обмена в системе океан–атмосфера.

Вследствие селективного поглощения вся инфракрасная часть (т.е. почти половина) солнечной радиации поглощается в первом же метровом слое воды [1]. Интенсивность поглощения определяется не только оптическими характеристиками самой воды, но и концентрацией органических и неорганических взвесей в поверхностном дневном слое. Изменение оптических характеристик верхнего метрового слоя океана, связанное с изменением концентрации органических и неорганических взвесей в процессе поглощения солнечной ИК-радиации, приводит к изменению ТПО, что ведет к изменению интенсивности теплообмена с атмосферой [2].

Наблюдения за динамикой диссипативных структур у неравновесной границы контакта вода–воздух были проведены в лабораторных условиях при помощи оригинальной аппаратуры. Измерения проводи-



Профили температуры в поверхностном слое воды в отсутствие дополнительного прогрева (а) и при облучении поверхности галогенной лампой накаливания в течение 1 мин при 180 (б) и 220 В (в) в чистой воде (сплошная линия) и в воде с примесью ила в концентрации 0,3 (штриховая) и 0,5 г/л (штрих-пунктир)

лись в пресной воде без примесей и в воде со взвешенным нурекским илом, взятым в концентрации 0,3 и 0,5 г/л при облучении поверхности воды источником света с регулируемой яркостью (галогенная лампа накаливания типа КГ 220-10000-5 мощностью 1 кВт, спектр излучения которой близок к спектру излучения Солнца).

Регистрация температуры проводилась методом термозондирования. В качестве датчика температуры использовалась дифференциальная термопара. Измерительный спай состоял из сваренных встык медной и константановой проволоки (диаметром 30 мкм), натянутых на П-образный держатель, перемещавшийся со скоростью 15 см/с. Спай сравнения и электронный усилитель размещались в герметичном контейнере, который был помещен под воду. Абсолютная температура контейнера измерялась независимо платиновым термометром сопротивления с точностью до  $0,05^\circ\text{C}$ . Доверительный интервал для измеренных значений температуры составлял  $0,1^\circ\text{C}$  с вероятностью  $\alpha = 0,95$  [3].

На рисунке приведены характерные профили температуры у поверхности воды. Были вычислены соответствующие значения потоков тепла от воды в воздух  $q_\Sigma$ . Расчет потоков проводился в соответствии с законом Фурье:  $q_\Sigma = -\lambda \text{grad}\theta(z=0)$ , где  $\lambda = 0,6 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ , а  $\text{grad}\theta(z=0)$  определялся из профиля температуры. Из рисунка видно, что при выбранных условиях эксперимента в отсутствие дополнительного прогрева лампой сверху (рисунок, а) в поверхностном слое возникает холодная пленка, причем профили температур для чистой воды и воды с примесью ила близки. После облучения поверхности воды лампой накаливания в течение 1 мин с напряжением 180 и 220 В (рисунок, б и в) профили температуры в поверхностном слое существенно изменяются. На некотором расстоянии от поверхности регистрируется максимум температуры, величина

на которого возрастает по мере увеличения прогрева и концентрации взвешенного вещества. Растет температура поверхности воды, существенно возрастают градиенты температуры, следовательно, возрастают и тепловые потоки. Так, если для чистой воды рассчитанные потоки тепла имеют значения  $100$  (а),  $450$  (б) и  $640 \text{ Вт}/\text{м}^2$  (в), то для воды с концентрацией ила  $0,3 \text{ г}/\text{л}$  потоки принимают значения  $160$ ,  $600$  и  $700 \text{ Вт}/\text{м}^2$ , а для концентрации ила  $0,5 \text{ г}/\text{л}$  —  $160$ ,  $620$  и  $920 \text{ Вт}/\text{м}^2$  соответственно.

Таким образом, эксперимент подтвердил, что потоки тепла с поверхности существенно зависят от наличия взвесей в воде, так как происходит перераспределение тепла по глубине и изменение температурного режима тонких поверхностных слоев.

Особый интерес для экологии океана представляет фитопланктон как фактор, приводящий к усилению интенсивности теплообмена, а также наличие взвесей в шельфовой зоне океана из-за антропогенного загрязнения. Живая материя эволюционирует, поэтому видовое изменение планктона может привести к изменению оптических характеристик на больших акваториях океана и влиянию на погоду и климат Земли.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 98-05-64113).

#### Литература

1. Хунджюа Г.Г., Аксенов В.Н. // Изв. АН СССР, ФАО. 1986. № 1. С. 96.
2. Караваева Е.В., Китаева В.Л., Хунджюа Г.Г. // Вестн. Моск. ун-та. Физ. Астрон. 1995. № 3. С. 76 (Moscow University Phys. Bull. 1995. No. 3. P. 73).
3. Хунджюа Г.Г., Аксенов В.Н., Андреев Е.Г. и др. // Метеорология и гидрология. 1995. № 1. С. 32.

Поступила в редакцию  
20.01.98