

ГЕОФИЗИКА

УДК 551.465.63

**РОЛЬ ОРГАНИЧЕСКИХ И НЕОРГАНИЧЕСКИХ ВЗВЕСЕЙ
В ФОРМИРОВАНИИ ТЕРМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ПОВЕРХНОСТНОГО
СЛОЯ ВОДЫ ПРИ ТЕПЛООБМЕНЕ С ВОЗДУХОМ**

Е. В. Караваева, В. Л. Китаева, Г. Г. Хунджуа

(кафедра физики атмосферы)

Натурные исследования, проведенные в заводи Москвы-реки, показали, что наличие в воде водорослей и ряски приводит к увеличению интенсивности тепломассообмена, что объясняется повышенной температурой в тонком подповерхностном слое. Результаты лабораторных экспериментов согласуются с данными натурных измерений: в присутствии взвесей (в нашем случае — нурекского ила) градиенты температуры в холодной пленке и соответствующие потоки тепла выше, чем в чистой воде.

Между водной и воздушной оболочками Земли постоянно имеет место обмен теплом, веществом и импульсом. Сущность этого процесса состоит в следующем. Радиационный обмен между Солнцем, Землей и космосом из-за различия в оптических характеристиках воды и воздуха приводит океан и атмосферу в термически неравновесное состояние (тропосфера холоднее верхнего стометрового деятельного слоя океана). В результате на границе раздела океан—атмосфера спонтанно возникает тепломассообмен, заключающийся в испарении, ИК-излучении поверхности океана и контактном теплопереносе. Будучи первопричиной глобальных переносов и циркуляций воздушных масс на Земле, сами они имеют место практически на поверхности океана (в 10-микронном «радиационном» слое), унося огромное количество тепла.

Тепловым резервуаром для указанных процессов является дневной квазигодородный слой океана, который получает тепло в результате объемного поглощения приходящей солнечной радиации. В работе [1] было показано, что дневной однородный слой формируется в основном за счет поглощения ИК-части солнечного спектра (диапазон длин волн от 0,7 до 4 мкм), причем большая часть этой радиации поглощается в верхнем метровом слое воды.

Таким образом, интенсивность процессов обмена на границе океан—атмосфера, определяющаяся температурой поверхности океана, зависит от термического состояния дневного однородного слоя, а главным образом поверхностного метрового слоя воды. Поглощение солнечной радиации в этом слое определяется не только оптическими характеристиками самой воды, но и наличием в ней органических и неорганических взвесей. Имеющиеся в воде взвеси могут повлиять на распределение поглощенного тепла по глубине вблизи поверхности раздела.

Особый интерес здесь представляет изучение роли фитопланктона, который из-за сезонных изменений и суточных миграций может существенно влиять на изменение термического состояния и структуры приповерхностного слоя воды и, следовательно, на изменение интенсивности тепломассообмена между водоемом и воздухом.

Известен ряд работ по исследованию показателя ослабления света в океанских водах в зависимости от цветности воды, наличия в ней

бактерий, нерастворимых взвесей, планктона [2—4], но до настоящего времени практически не изучен вопрос о роли органических и неорганических взвесей в формировании термической структуры поверхностного слоя воды.

Однако нельзя не отметить работы М. И. Гладышева по лабораторному исследованию влияния организмов зоопланктона на температуру поверхностного слоя вследствие биотурбулентных возмущений [5].

На кафедре физики атмосферы МГУ проведена серия лабораторных экспериментов и натурных наблюдений на Москве-реке в районе г. Звенигорода по исследованию влияния взвесей на теплообмен между водой и воздухом в открытых водоемах [6].

Суть лабораторного эксперимента состояла в одновременной регистрации профилей температуры и ослабления светового потока в поверхностном слое воды при облучении поверхности жидкости потоком света от галогенной лампы накаливания (типа КГ 220-10000-5) мощностью 1 кВт.

Для определения профиля температуры в поверхностном слое воды был использован метод микротермозондирования, сущность которого состоит в вертикальном перемещении малоинерционного терморезистора (СТЗ-24а, диаметр чувствительного элемента 0,1 мм) из глубины жидкости к поверхности со скоростью 0,5 см/мин и регистрации профиля температуры на двухкоординатном самописце. Это дает возможность определить градиент температуры у поверхности жидкости и вычислить в соответствии с законом Фурье суммарный поток тепла из воды в воздух: $Q_s = -\lambda dT/dz$, где $\lambda = 0,6$ Вт/(м·К) — коэффициент теплопроводности воды при молекулярном переносе (вблизи поверхности воды движение ламинарно).

Определение интенсивности проходящего светового потока по глубине проводилось с помощью фотодиода (ФД-24к, область спектральной чувствительности 0,47—1,2 мкм; $\lambda_{max} = 0,75—0,85$), сигнал с которого регистрировался вольтметром (Ф4800). К фотодиоду был подведен световод (диаметром 2 мм), торцевой срез которого перемещался вместе с температурным зондом.

Измерения были проведены в пресной воде без примесей и в воде со взвешенным нурекским илом (светло-коричневого цвета) в концентрациях: 0,2; 0,3; 0,4 и 0,5 г/л. Исследуемая жидкость помещалась в термостатированный сосуд емкостью 5 л, высотой стенок 25 см, который размещался на расстоянии 1 м от лампы накаливания. Время облучения лампой поверхности жидкости составляло 2 и 3 мин.

Полученные из измерений кривые ослабления светового потока по глубине для чистой воды (кривая 1) и воды с илом в указанных концентрациях (кривые 2, 3, 4 и 5 соответственно) представлены на рис. 1 в полулогарифмическом масштабе. (На всех рисунках отрезками указаны максимальные доверительные интервалы с доверительной вероятностью 0,9.)

Из графиков видно, что ослабление светового потока во всех слу-

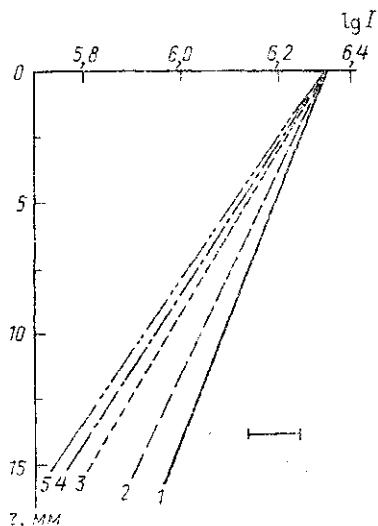


Рис. 1

чаях происходит по закону Бугера: $I(z) = I_0 \exp(-\varepsilon z)$, причем показатель объемного ослабления света (ε) возрастает по мере увеличения концентрации ила (от 0,3 в случае чистой воды до 0,56 при максимальной концентрации ила).

Полученные из экспериментов профили температуры в поверхностном слое жидкости для указанных пяти случаев, приведенные на рис. 2, показывают, что при выбранных нами условиях эксперимента (температура воды 22 °С, температура воздуха 19 °С) в случае отсутствия дополнительного прогрева жидкости лампой сверху (рис. 2, а) в

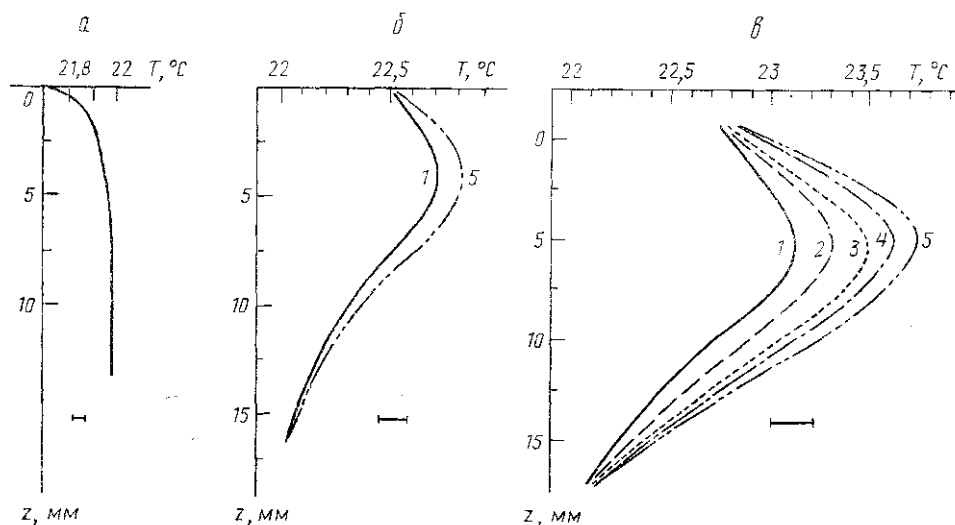


Рис. 2

поверхностном слое раствора возникает холодная пленка (градиент температуры около -175 К/м, соответствующий поток тепла от воды к воздуху около 100 Вт/м²), причем профили температуры для всех пяти сред практически совпадают. При включении лампы накаливания на 2 и 3 мин (рис. 2, б, в соответственно) профили температуры в поверхностном слое существенно изменяются: вблизи поверхности возникает подповерхностный максимум, величина которого возрастает по мере увеличения времени прогрева и концентрации взвешенного вещества (в пределах использованных концентраций). Градиенты температуры в холодной пленке, а значит, и соответствующие потоки тепла из воды в воздух также возрастают при увеличении концентрации ила (при облучении в течение 3 мин поверхности жидкости с илом в концентрации 0,5 г/л величина градиента температуры составляет около 680 К/м, а поток тепла достигает 400 Вт/м²).

Наблюдения за распределением температуры в поверхностном слое воды в природных условиях проводились в заводи Москвы-реки (малые течения, глубина не более 1 м) в различных точках водоема (рис. 3): в чистой воде (кривые 1), при наличии придонных водорослей и отсутствии ряски на поверхности (кривые 2), при наличии сплошного слоя ряски на поверхности и придонных водорослей (кривые 3).

Измерения проводились ртутными термометрами, фиксированными на четырех горизонтах (1, 5, 12 и 25 см от поверхности) с помощью штанги. Наблюдения велись в светлое время суток, показания

термометров снимались каждые 1,5—2 ч в течение двух дней (август 1993 г.) при ясной погоде.

Характерные результаты приведены на рис. 3, где *а* и *в* — профи-

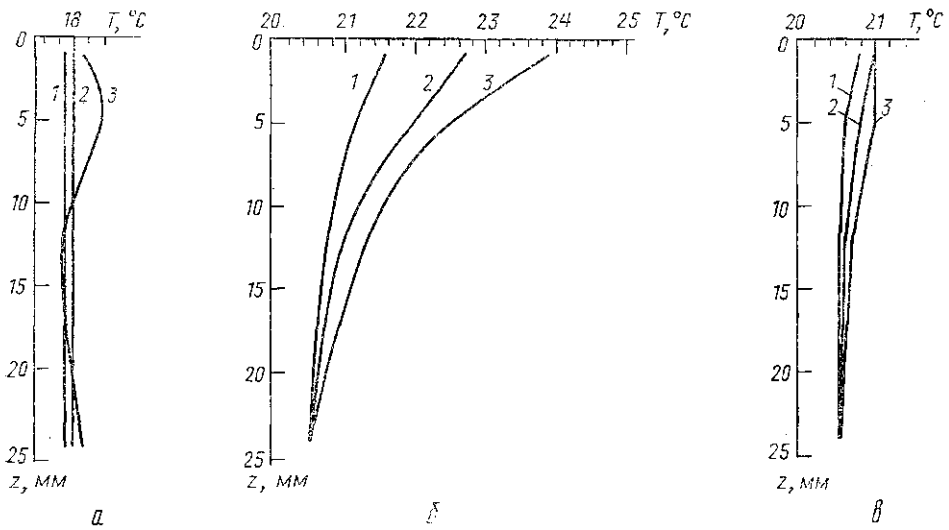


Рис. 3

ли, полученные утром (7 ч 30 мин) и вечером (20 ч 40 мин) соответственно, а *б* — типичный профиль, зарегистрированный при высоком солнце в ясную погоду. Заметим, что приведенные кривые начинаются с глубины 1 см, так как микротермозондирование тонкого поверхностного слоя (холодной пленки) в полевых условиях не проводилось.

Наблюдения показали, что до глубины 10 см имеется существенная разница в нагреве поверхностного слоя водоема для указанных выше трех случаев. Причем максимальный нагрев поверхностного слоя наблюдается при наличии на поверхности воды ряски (подповерхностная температура возрастает более чем на 3° относительно чистой воды).

Полная картина изменения температуры в сантиметровом подповерхностном слое в течение светлого времени суток для указанных трех точек водоема приведена на рис. 4. Из графиков видно, что в

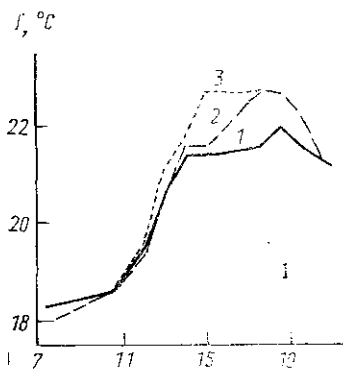


Рис. 4

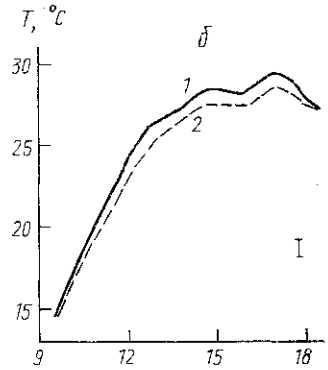
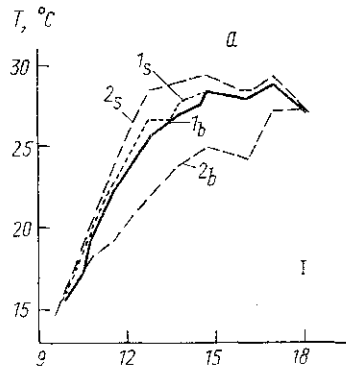


Рис. 5

Время суток, часы.

ясную погоду при высоком солнце температура этого слоя заметно выше для воды с ряской и водорослями, чем для чистой воды. Это существенный фактор, который может привести к увеличению интенсивности теплообмена с воздухом в случае наличия в воде взвесей, так как величины потоков тепла на испарение и ИК-излучение определяются температурой поверхностного слоя воды.

Заметим, что наблюдения в открытом море показали, что увеличение температуры поверхности океана на 1° приводит к возрастанию суммарного потока тепла в несколько раз [7].

Для выявления различий в интенсивности теплообмена между водой и воздухом в случае чистой воды и воды с фитопланктоном был проведен простейший натуральный эксперимент, заключающийся в следующем. Два одинаковых пластмассовых сосуда (емкостью 3 л, высотой 25 см), заполненных чистой речной водой (1-й) и речной водой с ряской и водорослями (2-й) размещали на берегу Москвы-реки в ясный солнечный день (14 августа 1993 г.). Измерения температуры в каждом сосуде в трех точках (у поверхности, в середине емкости и у дна) проводили в светлое время суток через 1—2 ч.

Результаты суточных наблюдений приведены на рис. 5, а, где кривые с индексами «s» и «b» соответствуют суточному ходу температур поверхностного и придонного слоев в обоих сосудах. Из графиков следует, что в 1-м сосуде кривые поверхностной и придонной температур отличаются незначительно (квазиравномерное распределение по глубине), тогда как при наличии ряски и водорослей (2-й сосуд) резко возрастает температура воды в поверхностном слое. Это объясняется увеличением показателя поглощения в поверхностном слое воды в присутствии ряски, а также затрудненным конвективным обменом между поверхностным слоем и нижележащими слоями при наличии водорослей.

Существенно отметить, что средняя по глубине температура в сосуде с водорослями оказалась во все время наблюдений заметно ниже, чем в сосуде с чистой водой (рис. 5, б), хотя 1-й и 2-й сосуды получали одинаковое количество тепла. Это можно объяснить тем, что отдавали тепло эти сосуды не в равной степени. Поскольку поверхностная температура в сосуде с ряской была выше, то и поток на испарение и ИК-излучение из него был существенно выше, чем из сосуда с чистой водой.

В результате проведенных натуральных и лабораторных исследований можно сделать следующий вывод: в открытых водоемах наличие неорганических и органических взвесей приводит к увеличению интенсивности теплообмена, что объясняется повышенной температурой в сантиметровом подповерхностном слое воды.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (93-05-8115).

ЛИТЕРАТУРА

1. Аксенов В. Н., Хунджуа Г. Г. // Изв. АН СССР, ФАО. 1986. № 1. С. 96.
2. Карабашев Г. С., Кулешов А. Ф. // ДАН СССР. 1990. 310, № 5. С. 1228.
3. Колелевич О. В., Родионов В. В., Ступакова Т. П. // Океанология. 1987. 27, № 6. С. 921.
4. James H. R., Birge E. A. // Trans. Wisc. Acad. Sci. Arts. Lett. 1938. 31.
5. Гладышев М. И. // ДАН СССР. 1991. 320, № 6. С. 1489.
6. Хунджуа Г. Г., Караваева Е. В., Китаева В. Л. Препринт физ. ф-та МГУ № 8/1993. М., 1993.
7. Гусев А. М., Андреев Е. Г., Гуров В. В. и др. // Метеорология и гидрология. 1976. № 8. С. 55.

Поступила в редакцию
29.06.94