

ГЕОФИЗИКА

УДК 551.465.7

**РОЛЬ ФИТОПЛАНКТОНА В ПРОЦЕССАХ ТЕПЛОМАССОБМЕНА
В ЗОНЕ ЭЛЬ-НИНЬО****Ю. Г. Смирнова, А. Б. Нелепо, Г. Г. Хунджуа***(кафедра атмосферы)*

Экологические катастрофы и катаклизмы последних лет, такие как засухи, пожары, ливневые дожди, паводковые наводнения в разных районах Земли, все чаще и чаще связывают с непредсказуемым и малоизученным феноменом Эль-Ниньо. Хотя сами процессы, развивающиеся при фазе Эль-Ниньо, региональны, тем не менее их последствия носят глобальный характер.

Многие специалисты называют основной причиной происходящих катаклизмов глобальное потепление климата (ГПК) в результате действия «парникового эффекта» из-за накопления парниковых газов в атмосфере (водяного пара, двуокиси углерода, метана, закиси азота, озона, хлорфторуглеродов). В связи с этим важной задачей становится определение всех источников выброса водяного пара в атмосферу. Особенный интерес представляет изменение потока теплоты на испарение в зоне Эль-Ниньо.

Феномен Эль-Ниньо заключается в резком повышении температуры поверхностного слоя воды в восточной части тропической зоны Тихого океана на площади порядка 10^7 км². Вопрос об источниках повышения температуры поверхностного слоя на 5–9 К остается до конца не изученным. Вероятно, накопление теплоты в ТТБ происходит в результате изменения величины составляющих теплообмена (ТМО) в зоне накопления энергии [1]. Как показывают исследования, интенсивность ТМО между океаном и атмосферой зависит от ряда факторов, таких как скорость ветра, температура поверхности океана (ТПО), наличие взвесей в воде, загрязнение океана поверхностно-активными веществами и др [2].

В результате апвеллинга в восточной части зоны Эль-Ниньо складываются благоприятные условия для быстрого роста планктона. Наличие планктона существенным образом изменяет температуру поверхностного слоя воды. Еще А. Мерцем при изучении влияния солнечной радиации на температуру поверхностного слоя воды в открытых водоемах было отмечено, что наличие водорослей в воде усиливает нагрев поверхностного слоя, тогда как ветер понижает его температуру. Проведенные А. Мерцем эксперименты показали, что суточные колебания температуры поверхностного слоя при наличии водорослей достигали 12.5°C и выше, а на глубине 10 см составляли только 0.8°C [3].

В экспериментальной работе [4], проведенной в натуральных условиях в заводи Москвы-реки показано, что в светлое время суток при ясной погоде и наличии органических взвесей в воде нагрев по-

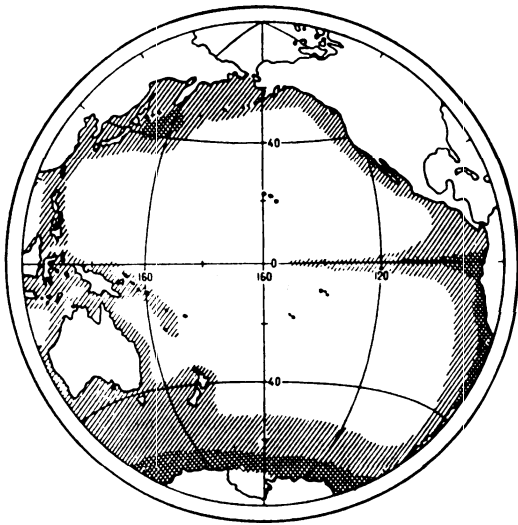
верхностного сантиметрового слоя воды в открытом водоеме примерно на 1°C выше, чем в чистой воде. В работе [5] было показано, что изменение ТПО на 1°C будет приводить к изменению потока теплоты на испарение на 22.5 Вт/м².

В начале 1990-х годов американский биолог доктор Дж. Мартин (Калифорнийская морская лаборатория) выдвинул гипотезу о том, что фитопланктону в океане недостает железа, и если «удобрить» море соединениями железа, жизнедеятельность планктона будет резко активизирована. Это приведет к связыванию в процессе фотосинтеза растворенного в воде CO₂ и, следовательно, к уменьшению его поступления в атмосферу. Для проверки этой гипотезы в природных условиях был проведен эксперимент, в ходе которого была «удобрена» соединениями железа поверхность океана площадью в 64 км² в экваториальной зоне Тихого океана в 1600 км к западу от берегов Эквадора. Это привело к взрывному росту фитопланктона. Полтонны железистого сульфата дали 500 т фитопланктона [6]. Одновременно поток углекислого газа из моря в атмосферу снизился на 60%. Таким образом, эксперимент предлагал метод по снижению содержания CO₂ в атмосфере на 6%–21% за счет «удобрения» только антарктических морей [7].

Между тем, рост массы фитопланктона в океане однозначно вызовет помутнение водной среды и, следовательно, трансформацию поглощенной солнечной радиации в тепло. Можно получить оценки дополнительного потока теплоты, поступающего в атмосферу из-за повышения мутности поверхностного слоя океана при бурном росте фитопланктона, используя данные среднегодовой радиационной модели (СГРМ) океана и атмосферы [8] и данные результатов наблюдений, приведенных в работах [4, 9]. Проведенный расчет показывает, что дополнительный поток энергии в атмосферу с полигона размером 64 км² за сутки составит $W_D = 1.2 \cdot 10^{14}$ Дж.

Действие пассатов в зоне Эль-Ниньо приводит к апвеллингу в восточной области и прогреву по-

верхностных вод в процессе их переноса на запад. В этом случае можно говорить об обогащении поверхностных вод естественным путем: богатые питательными веществами глубинные воды поднимаются на поверхность, обогащая бедную питательными веществами воду, сгоняемую ветрами (в поверхностных водах формируется диссипативная структура). На рисунке [9] показана продуктивность поверхностных вод Тихого океана, впервые установленная по наблюдениям за планктонными организмами Свердрупом в 1954 г. Участки без штриховки соответствуют плотности до 50 особей на 1 л, с редкой штриховкой — от 50 до 100 особей на 1 л, с густой штриховкой — более 100 особей на 1 л. Площадь заштрихованной зоны составляет 10^{14} м².



Проведенные выше расчеты дают возможность оценить влияние планктона в зоне Эль-Ниньо на ТМО между океаном и атмосферой в этом районе. Дополнительный поток энергии в атмосферу, обусловленный присутствием фитопланктона, в этом случае за сутки составит $W_D = 2 \cdot 10^{20}$ Дж.

По СГРМ средняя плотность потока солнечной радиации на верхней границе атмосферы составляет $P = 342$ Вт/м². С учетом альбедо Земли, равного 30%, поступающая в систему океан-атмосфера плотность потока радиации будет $P_P = P(1 - A) = 240$ Вт/м². Отсюда на ис-

парение уйдет 40% теплоты [5], что составит $P_I = 240$ Вт/м² \times 40% = 96 Вт/м². Следовательно, поток теплоты на испарение со всей зоны Эль-Ниньо составит за сутки $W_I = 8 \cdot 10^{20}$ Дж. Таким образом, доля энергии, обусловленная наличием в поверхностном слое океана фитопланктона, составляет $W_D/W_I = 25\%$ от всей накопленной в сформировавшейся термодинамической структуре энергии. Поступление дополнительного тепла от фитопланктона может привести к разрыву причинно-следственной цепочки и переходу системы к новому метастабильному состоянию.

В системе океан-атмосфера действуют законы неравновесной (необратимой) термодинамики. Вдали от состояния равновесия возникают нелинейные процессы с обратными связями (положительными и отрицательными). При этом бесконечно малые возмущения могут привести к радикальному изменению системы — тепловому взрыву, при котором поведение системы непредсказуемо. Это в свою очередь может привести к самоорганизации диссипативных структур меньшего критического уровня (за счет диссипации энергии в окружающей среде).

Литература

1. Хунджа Г.Г., Нелено А.Б. // Препринт МГУ № 9/2001. М., 2001.
2. Хунджа Г.Г., Андреев Е.Г., Аксенов В.Н. и др. // Изв. АН. ФАО. 1997. **33**. С. 298.
3. Ролль Г.У. Физика атмосферных процессов над морем. Л., 1968. С. 218.
4. Караваева Е.В., Китаева В.Л., Хунджа Г.Г. // Вестн. Моск. ун-та. Физ. Астрон. 1995. № 3. С. 76.
5. Хунджа Г.Г., Андреев Е.Г., Аксенов В.Н. и др. // Метеорология и гидрология. 1995. № 1. С. 32.
6. Frost B.W. // Nature. 1996. **383**. С. 475.
7. Cooper D.J., Watson A.J., Nightingale P.D. // Nature. 1996. **383**. С. 511.
8. Иванов А. Введение в океанографию. М., 1978. С. 221, 223, 256.
9. Океанографическая энциклопедия. М., 1974. С. 537–538.

Поступила в редакцию
20.04.04