

ФИЗИКА ЗЕМЛИ, АТМОСФЕРЫ И ГИДРОСФЕРЫ

Натурные регистрации смены режимов теплообмена между морем и атмосферой в береговой зонеЮ. Ю. Плаксина^{1а}, В. Н. Аксёнов², Е. Г. Андреев²

¹ ГОУ СОШ № 1972. 113042, Москва, ул. Барятинская, д. 49, корп. 2. ² Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, физический факультет, кафедра физики атмосферы. Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2. E-mail: ^а yu-plaksina@mail.ru

Впервые на базе инструментальных исследований в береговой зоне Черного моря были получены новые данные о смене режимов теплообмена при апвеллинге, установлена взаимосвязь режимов теплообмена с разностью температур воды и воздуха вблизи границы раздела. Зарегистрированы повышенные значения суммарного потока тепла в береговой зоне по сравнению с аналогичными потоками в открытом море.

РАС: 92.60.Сс, 93.30.Рр.

Ключевые слова: взаимодействие океана и атмосферы, поверхностный слой, теплообмен, холодная пленка, теплая пленка.

Статья поступила 04.07.2008, подписана в печать 10.12.2008.

Подъем холодных глубинных вод при апвеллинге влияет на процессы взаимодействия между океаном и атмосферой, изменяя направление составляющих потоков явного и скрытого тепла. Вместе с тем, насколько нам известно, прямых инструментальных регистраций потоков тепла и влаги между океаном и атмосферой при режиме апвеллинга нет.

Береговой апвеллинг — подъем глубинных и очень холодных вод в верхние слои океана или моря и замещение ими теплых водных масс — довольно частое явление на Черном море. Мы проводили измерения с морской стационарной платформы экспериментального отделения Морского гидрофизического института, которая установлена в 800 м от берега на траверсе пос. Качивели, близ г. Симеиза (Крым). Условия в районе платформы близки к условиям открытого моря, а на самой платформе имеется метеостанция, регистрирующая основные метеопараметры: температуру воды и воздуха, влажность, скорость и направления ветра и пр. Кроме того, на платформе установлены датчики измерения температуры воды на разных горизонтах от поверхности до глубины 25 м (через каждые 5 м), что позволяет иметь информацию о начале и конце возникновения апвеллинга, его интенсивности и температуре в слоях. Для измерения вертикального профиля температуры на трехплавковом буйе, дрейфовавшем на расстоянии 30–50 м от платформы, были размещены малоинерционная термомониторинговая аппаратура и 5 платиновых термометров сопротивления, покрытых солнцезащитными экранами, позволяющих измерять температуру воды и воздуха на различных горизонтах с точностью $\pm 0.1^\circ\text{C}$. Малоинерционная аппаратура [1] позволяла регистрировать вертикальный профиль температуры в тонких примыкающих слоях воздуха и воды с разрешением около 50 мкм (в воде) и точностью $\pm 0.1\text{ K}$, что давало нам возможность вычислять интенсивность потоков тепла между морем и атмосферой в различных метеоусловиях с применением градиентометрического метода [2]. Датчиком в аппаратуре служила медь-константановая термопара, сваренная из проволоки диаметром 30 мкм, закрепленная в вилкообразном держателе. По управляющей команде специальный привод перемещал его по вертикали со скоростью 17 см/с,

так что датчик температуры непрерывно регистрировал температуру на пути своего движения, т.е. в слое 30–40 см над и 20–30 см под водой, а сигнал с датчика через усилитель шел на регистрирующее устройство. В 1996 г. в качестве регистрирующего устройства нами использовался осциллограф с фотопроставкой. На экране осциллографа отклонение луча по вертикали на одно деление координатной сетки соответствовало разности температур в 0.5 К, фиксируемой термопарой, отклонение луча на одно деление по горизонтали — расстоянию в 0.85 мм, пройденному термопарой.

Для увеличения точности измеряемых градиентов после 1997 г. в качестве регистрирующего и записывающего устройства нами использовался подключенный через АЦП персональный компьютер. На жесткий диск персонального компьютера записывалась разность потенциалов между термопарой и спаем сравнения с частотой 2000 раз в секунду в течение 3 с. Для масштабирования полученных данных, построения графика профиля температуры и определения градиентов температуры в воде и воздухе была написана программа, с помощью которой нами и были рассчитаны потоки суммарного тепла. При положительных градиентах температуры в воде, когда температура поверхности больше температуры нижележащей воды, суммарный поток тепла направлен из атмосферы в море. В этом случае реализуется режим теплой пленки, а когда градиенты температуры отрицательны и температура поверхности ниже температуры нижележащей воды, — холодной пленки.

В экспедициях 1996, 2000, 2003 гг. на Черное море во время апвеллинга в береговой зоне было получено 153 профиля температуры в тонком слое вблизи границы раздела море–атмосфера, из них 59 профилей с теплой пленкой. Причем в 1996 г. теплая пленка встречалась в 49% случаев, в 2000 г. — в 12%, а в 2003 г. — в 78% случаев, в отличие от открытого моря, где число профилей с теплой пленкой не превышает 20%. Пример зарегистрированного профиля с режимом холодной пленки приведен на рис. 1, а, а с режимом теплой — на рис. 1, б. Анализ полученных данных позволил сделать вывод, что формирование режима теплой или холодной

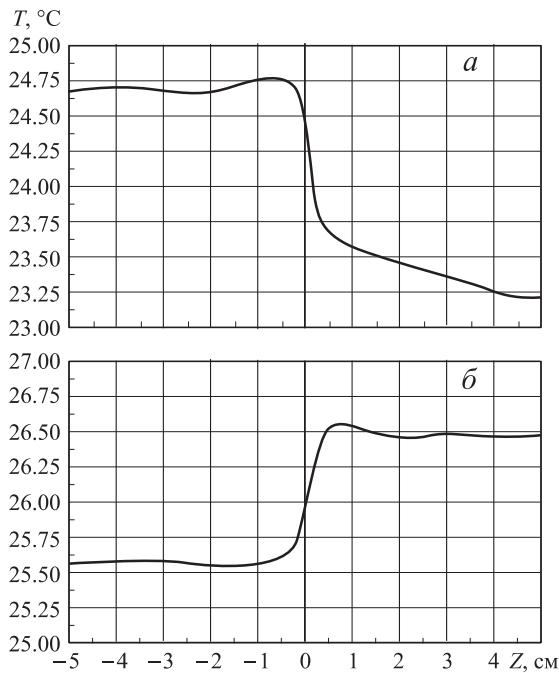


Рис. 1. Профили температуры, зарегистрированные в 06:00 24.08.2003 (а) и в 19:05 23.08.2003 (б)

пленки в прибрежной зоне в наибольшей степени зависит от разности температуры воздуха и воды в прилегающих к границе раздела слоев высотой и глубиной около 30 см. Эта зависимость отражена на рис. 2. Как видно из графика на рис. 2, при разностях температур воздуха и воды меньше 1°C могут наблюдаться оба вида режимов, тогда как при разностях температур воздуха и воды, больших чем 1°C , в зависимости от знака разности устойчиво наблюдается либо холодная, либо теплая пленка. Вместе с тем явной зависимости суммарного потока в береговой зоне от разности температур воздуха и воды, а также от относительной влажности, скорости ветра, облачности и температуры поверхности по отдельности выявить не удалось. Величина суммарного потока не подавалась прямым сопоставлениям, что, вероятно, связано с особенностями прибрежного района и множеством факторов,

Registration of changes of sea and atmosphere heat and mass exchange regimes in the coastal zone at natural conditions

Yu. Yu. Plaksina^{1a}, V. N. Aksenov², E. G. Andreev²

¹School 1972, building 49-2, Moscow 113042, Russia. ²Department of Atmosphere Physics, Faculty of Physics, M. V. Lomonosov Moscow State University, Moscow 119991, Russia.

E-mail: ^ayuplaksina@mail.ru.

New data heat and mass exchange regimes during the water upwelling were obtained for the first time by instrumental researches in a coastal zone of Black Sea, which allow establishing a dependence of these regimes on temperature difference of close water surface. Elevated amounts of resulting heat flux in a coastal zone comparing to analogous flux in a open sea were registered.

PACS: 92.60.Cc, 93.30.Pp.

Keywords: ocean-atmosphere interaction, skin layer, heat and mass exchange, cool skin, warm skin.

Received 4 July 2008.

English version: *Moscow University Physics Bulletin* 2(2009).

Сведения об авторах

1. Плаксина Юлия Юрьевна — преподаватель; тел.: 312-45-53, e-mail: yuplaksina@mail.ru.

2. Аксёнов Владимир Николаевич — к. ф.-м. н., доцент; доцент; тел.: 939-16-52.

3. Андреев Евгений Григорьевич — к. ф.-м. н., ст. научн. сотр.; ст. научн. сотр.; тел.: 939-15-41.

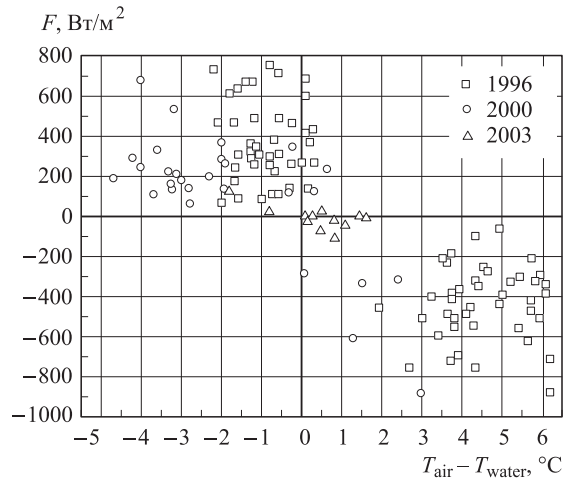


Рис. 2. Зависимость суммарного потока тепла от разности температур воздуха и воды вблизи поверхности

влияющих на тепломассообмен между морем и атмосферой, таких как сильные поверхностные течения, вынос придонных взвесей прибрежным волнением, возможно, влияние городских стоков, усиленной эксплуатации маломерных судов вокруг платформы и т. д. Также следует отметить, что в исследуемом нами районе потоки тепла в среднем превышают аналогичные значения для районов открытого моря в 1.5–2 раза, что, по-видимому, связано с лучшим прогревом прибрежных вод — более мутных и менее глубоких, чем в открытом море.

Проведенные в течение ряда лет измерения в прибрежной зоне показали, что для нее характерны как режим холодной, так и теплой пленки. Впервые получены данные о смене режимов тепломассообмена моря с атмосферой. Однако сложность учета различных метеорологических факторов на тепломассообмен моря с атмосферой требует более подробных и тщательных измерений, в том числе и в условиях моделирования в лаборатории.

Список литературы

1. Хунджуа Г.Г., Гусев А.М., Андреев Е.Г. и др. // Изв. АН СССР. 1977. **13**, № 7. С. 753.
2. Хунджуа Г.Г., Андреев Е.Г., Аксёнов В.Н. // Изв. РАН. ФАО. 1997. **33**, № 3. С. 298.