

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АТМОСФЕРЫ И ОКЕАНА В ПОЛЯРНЫХ РАЙОНАХ

**Репина И.А.¹, Артамонов А.Ю.¹, Варенцов М.И.¹,
Хавина Е.М.¹**

*¹Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН,
119017, Москва, Пыжевский пер. 3,
тел. 8-951-85-49, repina@ifaran.ru*

Results of experimental studies of the ocean-ice-air interaction in summer and autumn in the central and shelf regions of the Arctic Ocean. Fluxes of heat, moisture and momentum were calculated and analyzed for typical atmospheric conditions in the deep and shelf areas and over various types of ice and open water. The characteristics of atmospheric boundary layer stability in the marginal zones were also addressed.

Введение. Одним из основных вопросов проблемы взаимодействия океана и атмосферы является описание процессов энергомассобмена. В наиболее сложном виде эти процессы представлены в Арктическом бассейне, так как ледяной покров определяет изменение альbedo, потоки тепла и влаги, а также динамическое взаимодействие между океаном и атмосферой [1, 2]. Полярной зимой лед препятствует теплообмену, но при наличии участков открытой воды (полюней, разводий) из-за большой разницы температур вода-воздух турбулентные потоки тепла возрастают в десятки раз [3]. Полярным регионам свойственна поверхность сложной структуры: здесь присутствуют льды различной толщины, покрытые торосами, снежницами, гладкие и со снежным покровом; полюньи и разломы различной протяженности; большие участки открытой воды во взволнованном состоянии. В результате, воздушный поток, переходя с одной поверхности на другую, трансформируется, и возникает сложная система внутренних пограничных слоев. Обменные процессы оказываются зависимы от сплоченности, толщины льда, степени его заснеженности и восторошенности, направления воздушного потока, площади полюней и трещин, наличия поземки и многих других часто трудно формализуемых факторов [1, 2, 4, 5]. Структура поверхности льда влияет на тепло- и влагообмен между льдом и атмосферой и профили метеорологических величин в приповерхностном слое [6].

Наиболее сложны процессы энергообмена в прикромочных зонах, где ледяной покров имеет ярко выраженный сезонный цикл и наблюдается максимальное разнообразие его структуры и сплоченности [7, 8].

Результаты исследований. Сильное радиационное выхолаживание и сравнительно небольшое поступление тепла от океана через теплоизолирующий слой льда приводят к тому, что температура верхней поверхности льда оказывается ниже температуры окружающего воздуха, что определяет устойчивую стратификацию приледного слоя атмосферы и отрицательный знак турбулентного потока явного тепла, а это означает охлаждение нижнего слоя атмосферы. Вклад турбулентного потока скрытого тепла незначителен, что объясняется малым содержанием водных паров в приледном слое атмосферы. В летний период преобладает нейтральная стратификация атмосферы, турбулентные потоки малы и также преобладает радиационный баланс за счет потоков коротковолновой радиации (рис. 1).

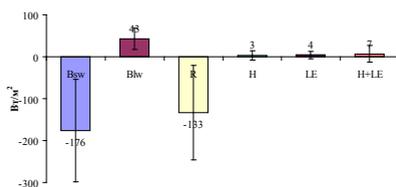


Рис. 1. Средние составляющие теплового баланса (3) в летний период в Арктике по данным измерений.

Но над участками молодого тонкого льда и, тем более, открытой поверхности в полыньях и разводьях, условия теплообмена меняются: все составляющие теплового баланса увеличиваются, а турбулентный поток тепла меняет знак. Особенно это существенно в осенне-зимний период, когда разница температур вода-воздух может достигать нескольких десятков градусов. При наличии открытой воды и молодого льда в осенне-зимний период турбулентный энергообмен начинает играть ключевую роль в общем энергетическом балансе. Наблюдался положительный поток тепла над зонами разводий и отрицательный – над многолетними льдами.

На рис. 2 продемонстрировано как при одинаковых погодных условиях в летне-осенний период сплоченность льда (процентное отношение площади открытой воды к площади льда) влияет на турбулентный энергообмен. В данном случае рассматривались измеренные турбулентные потоки тепла, осредненные по часовым интервалам, и визуальная определенная средняя концентрация льда за этот период.

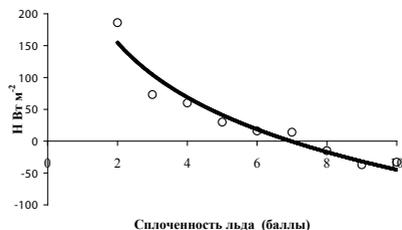


Рис. 2. Зависимость полученных из прямых измерений потоков тепла от сплочности льда. Линией обозначена аппроксимация.

На рис. 3 показаны результаты измерений коэффициента сопротивления поверхности на различном расстоянии от гряды торосов с наветренной и подветренной стороны. Наблюдается интенсификация обменных процессов непосредственно над грядой и на расстоянии нескольких десятков метров от нее как с наветренной, так и с подветренной стороны. Влияние гряды торосов заметно на расстоянии 200 метров по направлению ветрового потока.

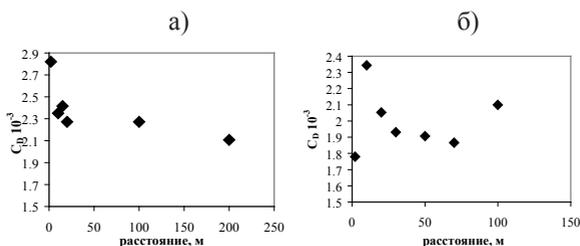


Рис.3. Коэффициент сопротивления заснеженной поверхности на различном расстоянии от гряды торосов: а) – направление ветрового потока от торосов к заснеженной поверхности; б) – направление ветрового потока от заснеженной поверхности к гряде торосов.

Результаты проведенных измерений подтверждают, что коэффициент сопротивления C_D и шероховатость ледовой поверхности в очень большой степени зависит от формы, геометрических размеров и размещения имеющихся на ней неровностей. Кроме того, сопротивление ледовой поверхности зависит от состояния снежного покрова, от наличия поземки и снегопадов, от стратификации приземного воздуха. Поэтому коэффициент сопротивления и параметр шероховатости оказываются изменчивы во времени и в пространстве Арктики в зависимости от метеорологических характеристик и распределения зон торошения и подвижек льда. Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 17-05-01221.

ЛИТЕРАТУРА

1. Макштас А.П. Тепловой баланс Арктических льдов в зимний период. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 87 с.
2. Репина И.А., Артамонов А.Ю., Смирнов А.С., Чечин Д.Г. Исследование взаимодействия океана и атмосферы в полярных районах в рамках международного полярного года. В сб. Метеорологические и геофизические исследования (под ред. Г.В. Алексеева). М.; СПб, 2011. С. 236–250.
3. Репина И.А., Чечин Д.Г. Влияние полыней и разводий в Арктике на структуру атмосферного пограничного слоя и региональный климат // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9, № 4. С. 162–170.
4. Волков Ю.А., Репина И.А. Влияние структуры подстилающей поверхности в полярных районах на энергообмен атмосферы и океана. В сб. Поверхностные и внутренние волны в арктических морях (под ред. И.В. Лавренова, Е.Г. Морозова). СПб.: Гидрометеиздат, 2002. Гл. 11. С. 189–206.
5. Репина И.А., Смирнов А.С. Обмен теплом и импульсом между атмосферой и льдом по данным наблюдений в районе Земли Франца-Иосифа // Известия РАН. ФАО. 2000. Т. 36, №5. С. 672–680.
6. Mauritsen T. On the Arctic Boundary Layer: From Turbulence to Climate. Stochgolm University. 2007. 62p.
7. Zippel S., Thomson J. Air-sea interactions in the marginal ice zone // Elementa Sci. Anth. 2016. Vol. 4 (1). P. 000095.
8. Варенцов М.И., Репина И.А., Артамонов А.Ю., Хавина Е.М., Матвеева Т.А. Экспериментальные исследования энергообмена и динамики атмосферного пограничного слоя в Арктике в летний период // Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации. 2016. Т.361. С. 95-127.