



Сравнительная оценка поступления солнечной радиации видимого диапазона на поверхность Баренцева моря летом 2014-2017 гг. по спутниковым данным

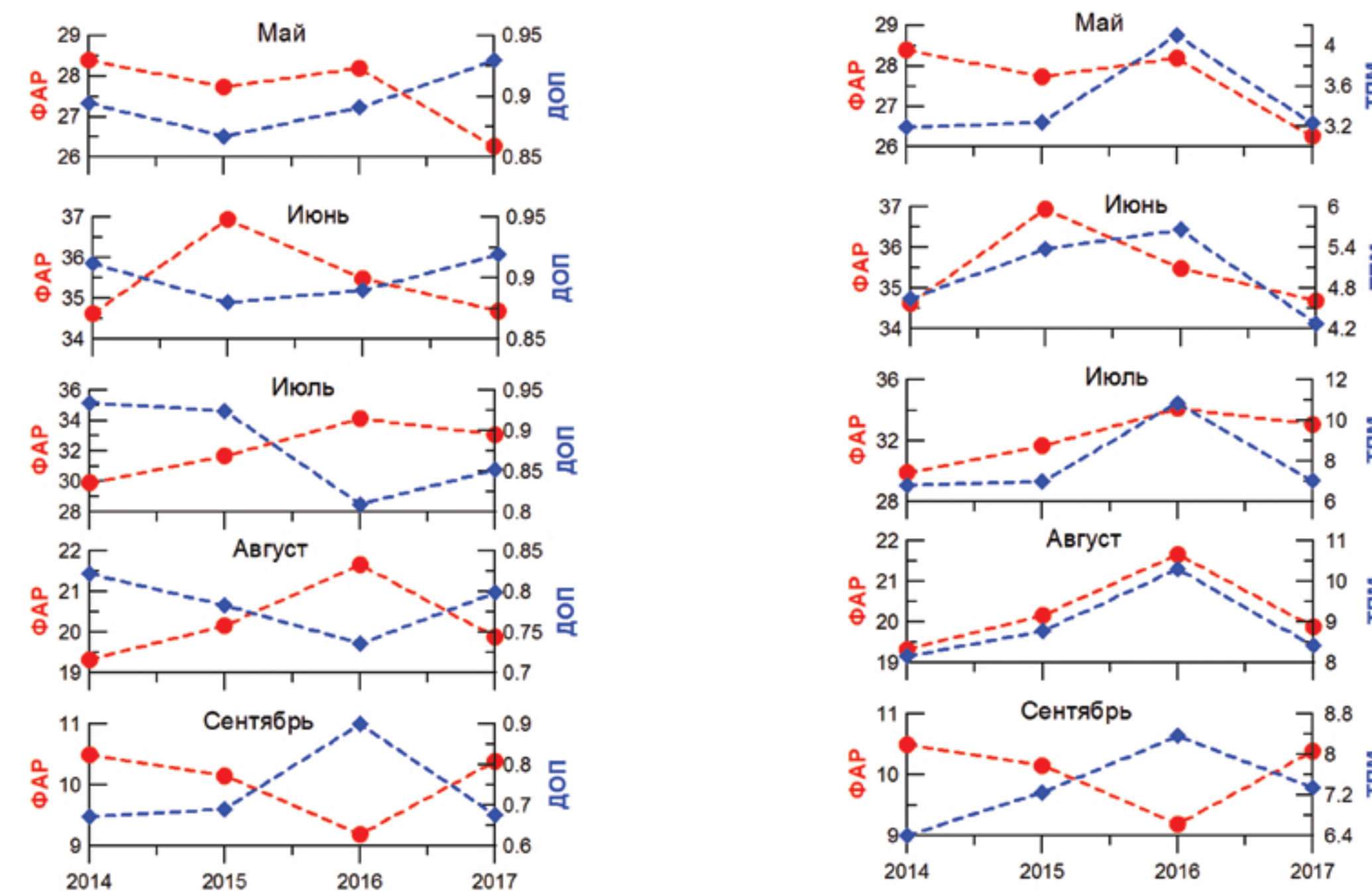
Вазюля С.В., Копелевич О.В., Шеберстов С.В., Салинг И.В.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва

Введение

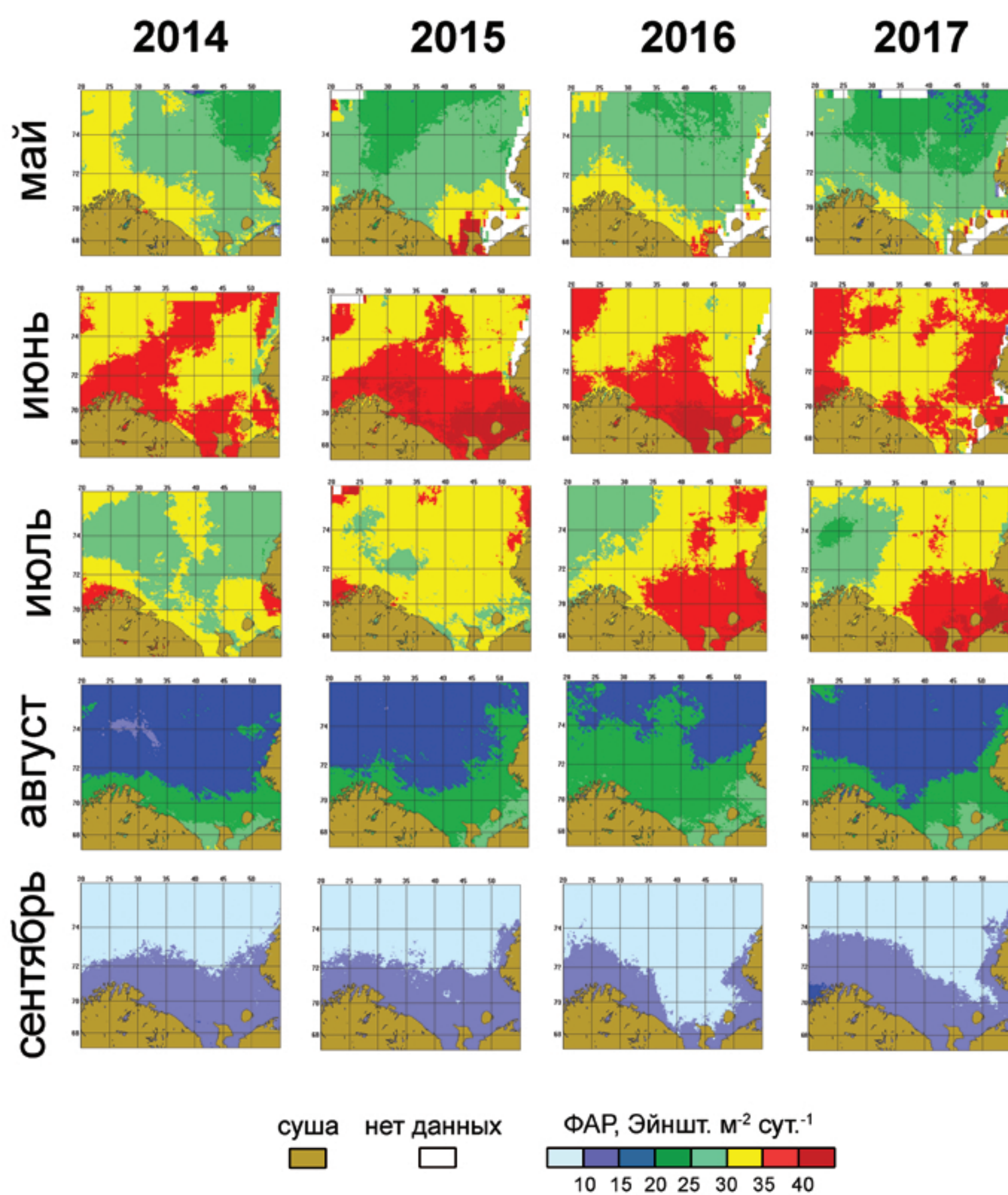
Солнечная радиация в видимом диапазоне (400-700 нм), известная как фотосинтетически активная радиация (ФАР), - важнейший фактор, определяющий развитие морских экосистем; в арктических условиях этот фактор большую часть года является лимитирующим. В водах арктических морей натурные измерения ФАР проводятся относительно редко, что не позволяет оценить пространственную и временную изменчивость поступающей ФАР и исследовать влияние на нее различных факторов. Единственная возможность для выполнения таких исследований (Копелевич и др., 2017) - использование данных спутниковых наблюдений, которые проводятся регулярно в течение многих лет и охватывают одновременно большие акватории. В докладе на основе спутниковых и судовых данных сравнивается поступление ФАР на поверхность Баренцева моря летом 2014-2017 гг.

Среднемесячные значения ФАР, доли облачных пикселей (ДОП) и температуры поверхности моря (ТПМ), усредненные по площади средней части Баренцева моря (<http://optics.ocean.ru>) с мая по сентябрь в 2014-2017 гг.

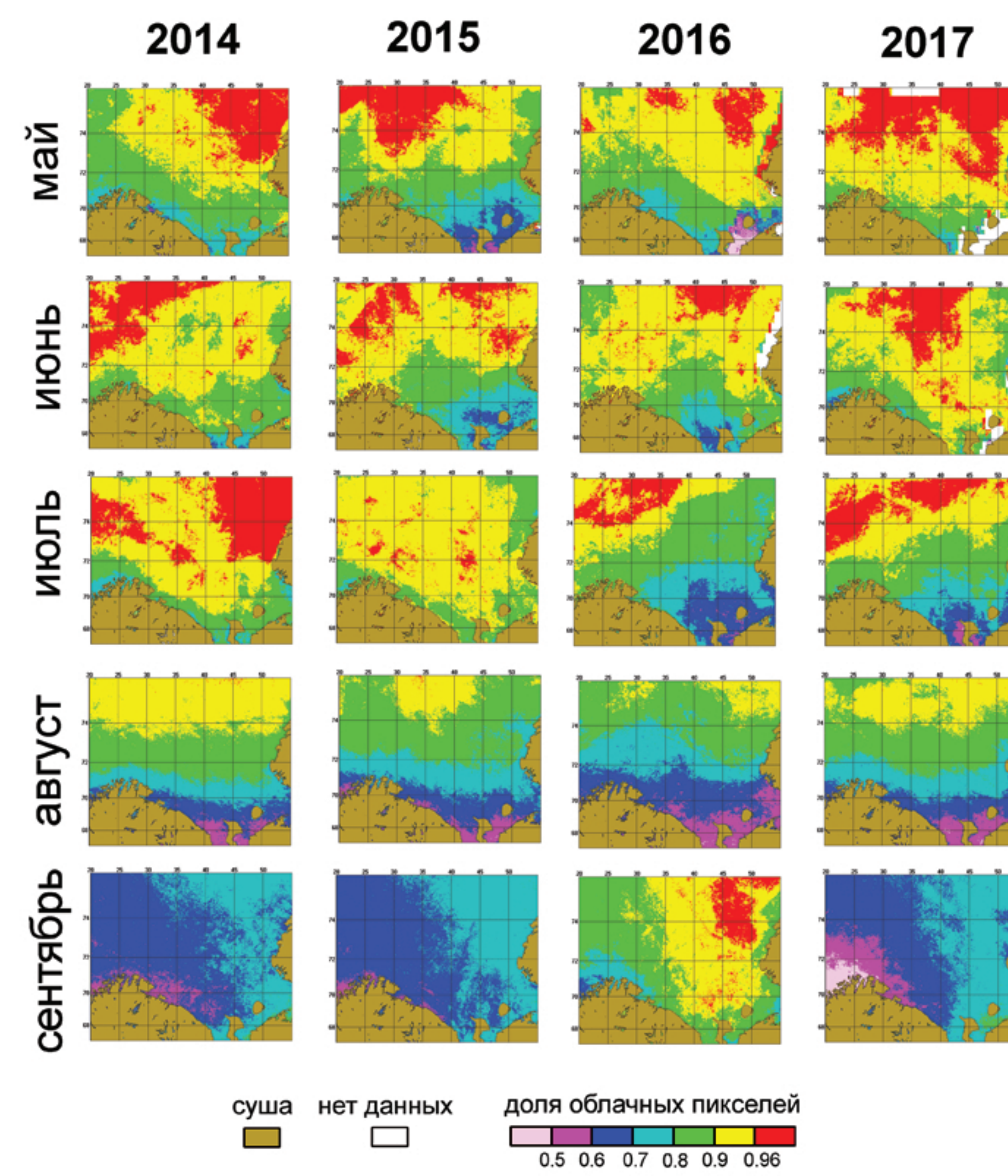


Для исследования пространственной и временной изменчивости приходящей ФАР и температуры поверхности моря (ТПМ) использовались среднемесячные распределения этих параметров с пространственным разрешением 4 км с мая по сентябрь (стандартные продукты обработки данных спутникового спектрофотометра MODIS-Aqua, файлы 3-го уровня). Для оценки облачности, как главного фактора, определяющего поступающую ФАР, по данным MODIS-Aqua 2-го уровня были рассчитаны среднемесячные распределения доли облачных пикселей (ДОП). Пиксель считается облачным, если он промаркирован флагом облачности CLDICE, пиксели помеченные флагом наличия льда SEAICE были исключены из расчетов. Сравнение среднемесячных значений ДОП и ФАР, усредненных по площади средней части Баренцева моря (<http://optics.ocean.ru>) с мая по сентябрь в 2014-2017 гг. показало четкую антикорреляцию между этими величинами. Например, в августе наибольшая величина ФАР наблюдалась в 2016 г., когда доля облачных пикселей составляла 74%, а наименьшая в 2014 г., когда ДОП равна 82%. Оценка влияния изменений приходящей ФАР на ТПМ, что, на фоне главного фактора - поступления теплых атлантических вод с Норвежским течением, влияние радиации видимого диапазона наиболее ярко проявляется в июле-августе 2016 г. в условиях безоблачного неба.

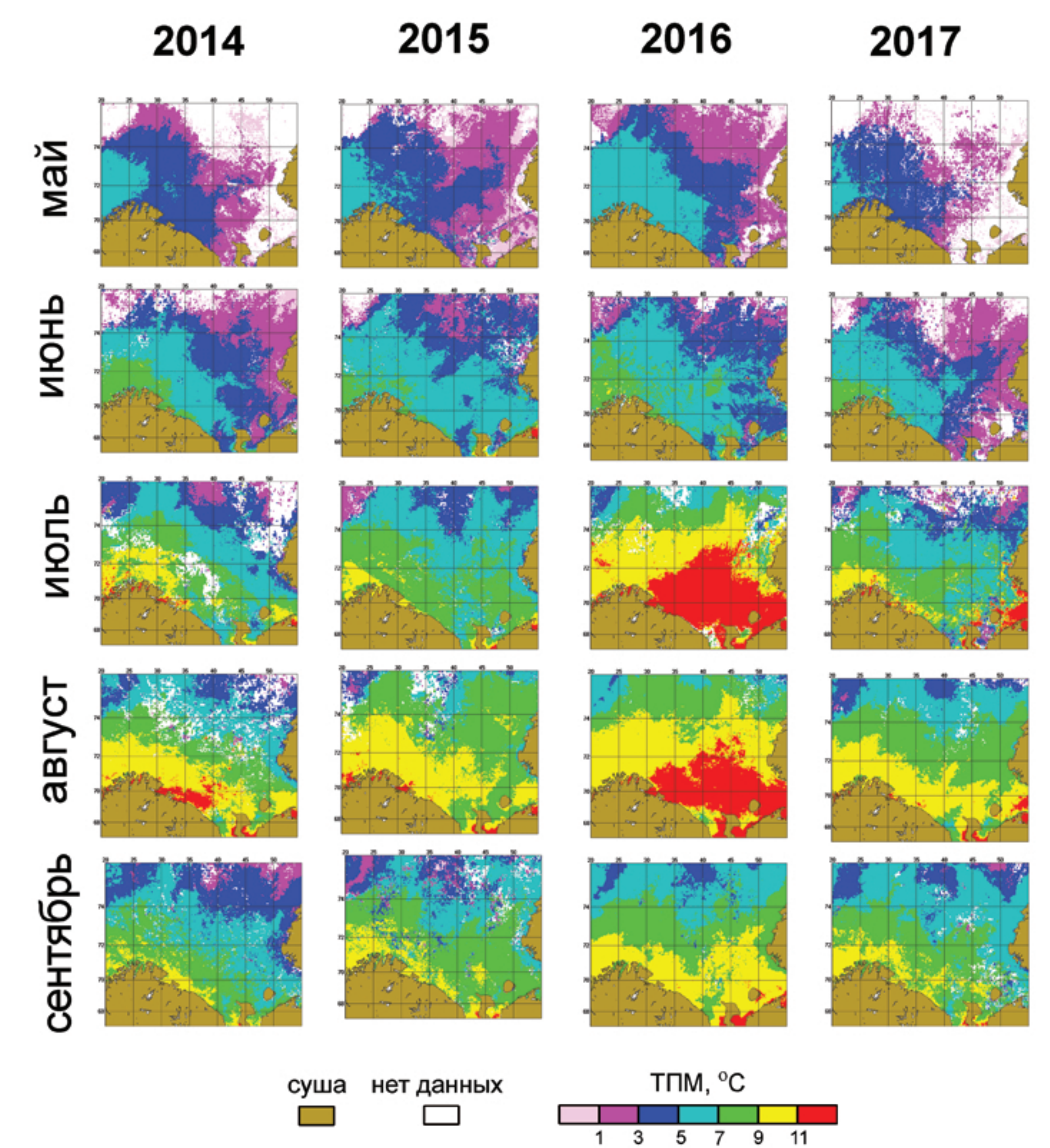
Среднемесячные распределения дневных экспозиций ФАР



Среднемесячные распределения доли облачных пикселей (ДОП)

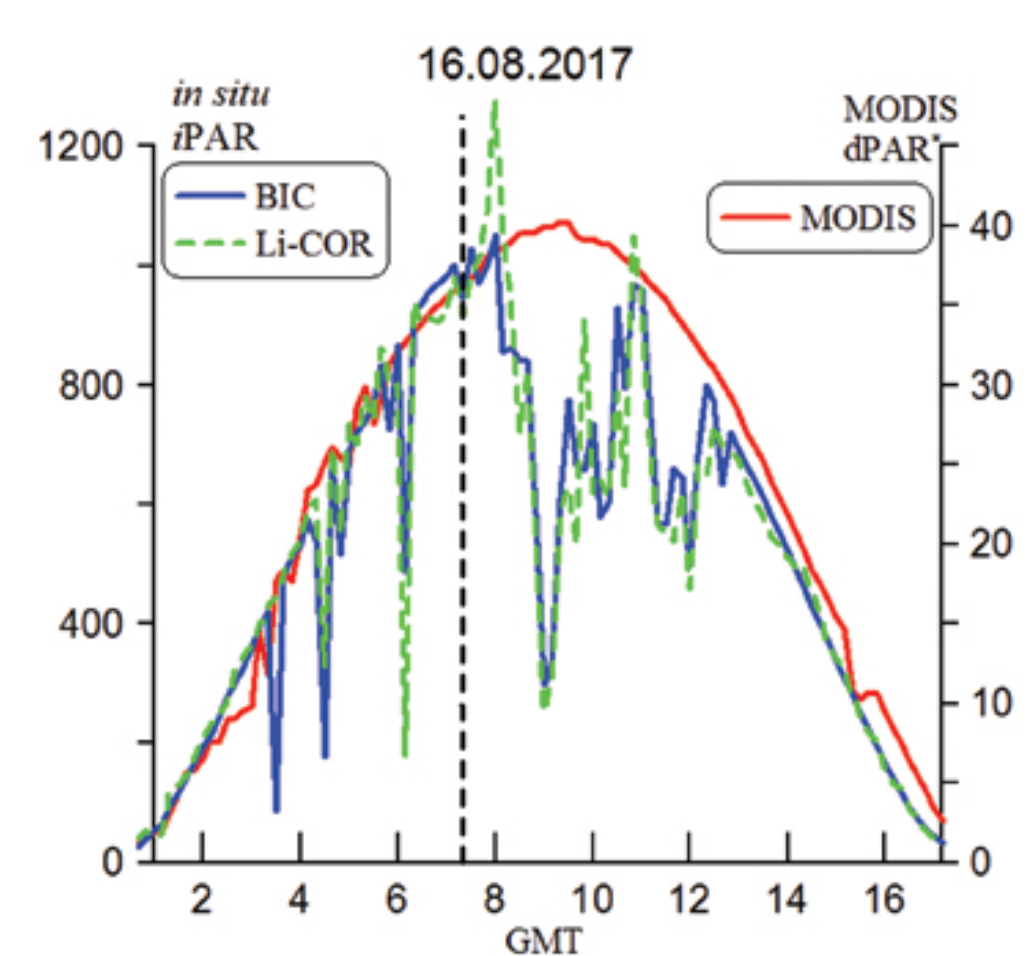
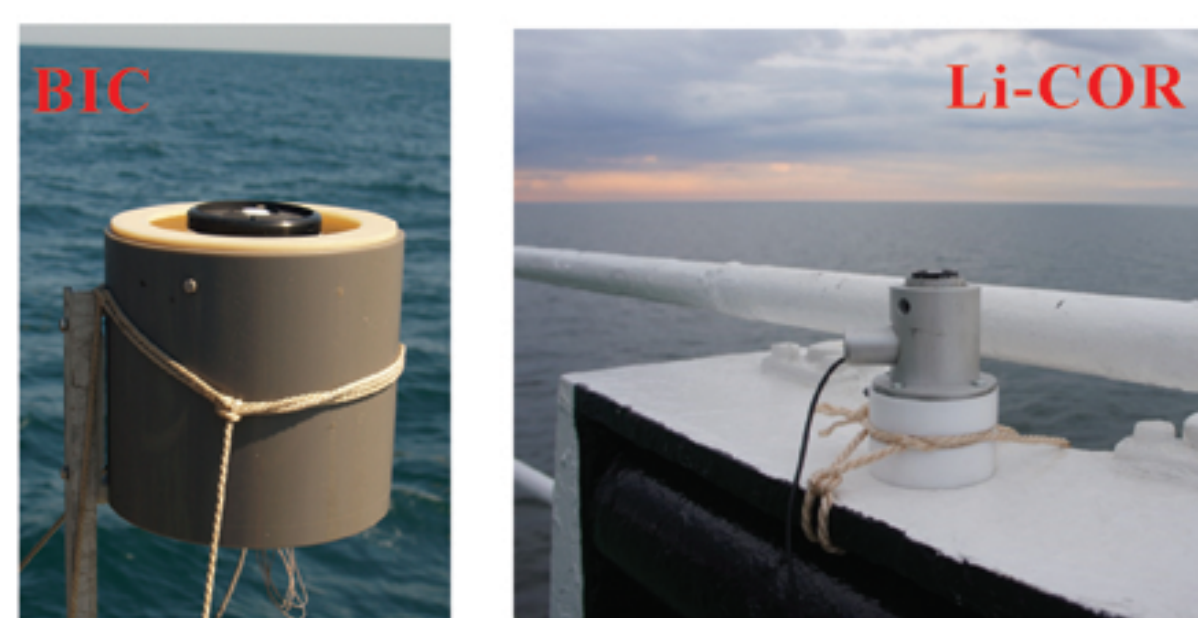


Среднемесячные распределения температуры поверхности моря (ТПМ)



Валидация по натурным измерениям

Натурные измерения поверхностной облученности проводились двумя палубными радиометрами BIC и Li-COR непрерывно в течение светлого времени суток в 65 и 68 рейсах НИС «Академик Мстислав Келдыш» в 2016 и 2017 гг. Приборы были установлены в не затеняемом месте, для BIC использовался стабилизатор вертикали для исключения влияния качки.



Пример изменения величин мгновенных величин ФАР (iPAR, мкЭйншт. м⁻² с⁻¹) в течение суток 16 августа 2017 по данным натурных измерений (BIC и Li-COR) и величин дневной экспозиции ФАР (dPAR, Эйншт. м⁻² сут.⁻¹) по данным MODIS вдоль маршрута НИС за этот день с нормировкой на косинус зенитного угла солнца. Спутниковые данные показаны для стандартного алгоритма NASA (Frouin et al., 2012). Вертикальная пунктирная линия показывает время пролета спутника (7:45).

Значения дневной экспозиции ФАР (Эйншт. м⁻² сут.⁻¹), рассчитанные по непрерывным измерениям радиометров в течение дня и по спутниковым данным (стандартный алгоритм NASA) по дневному маршруту НИС. Для спутниковых данных показаны средневзвешенные значения дневной экспозиции ФАР и относительные ошибки.

дата	время MODIS	ДЭ ФАР, Эйншт./м ² сут.			относит. ошибка MODIS
		BIC	Li-COR	MODIS	
05.07.2016	9:20	25.2	26.3	31.1	24%
05.07.2016	10:55	25.2	26.3	24.5	-2%
06.07.2016	8:25	46.7	52.2	57.9	24%
06.07.2016	10:00	46.7	52.2	57.7	23%
07.07.2016	7:25	36.1	-	30.5	-16%
07.07.2016	9:05	37.1	-	35.1	-5%
07.07.2016	10:40	38.1	-	33.4	-12%
29.07.2017	9:35	16.5	15.9	22.8	38%
29.07.2017	11:15	16.5	15.9	23.9	44%
31.07.2017	9:25	33.9	35.3	35.5	5%
31.07.2017	11:00	33.9	35.3	39.2	16%
01.08.2017	8:30	13.9	13.2	15.6	12%
01.08.2017	10:05	13.9	13.2	17.6	27%
14.08.2017	8:00	26.0	26.8	26.4	2%
14.08.2017	9:35	26.0	26.8	36.5	41%
14.08.2017	10:05	26.0	26.8	35.9	38%
16.08.2017	7:45	32.1	32.1	35.8	11%
16.08.2017	9:20	32.1	32.1	19.5	-39%

Радиометр BIC измеряет поверхностную облученность в 4 спектральных каналах 443, 490, 555 и 625 нм. Алгоритм (Khrarko et al., 2007) позволяет рассчитать поверхностную ФАР. Палубный радиометр Li-COR (модель LI-190SA) измеряет падающую на поверхность ФАР в квантовых единицах - мкЭйншт. м⁻² с⁻¹.

Заключение

- Сравнение среднемесячных величин доли облачных пикселей и ФАР с мая по сентябрь в 2014-2017 гг. показало четкую антикорреляцию между этими величинами, что подтверждает роль облачности, как главного фактора, определяющего поступающую на поверхность моря ФАР.
- Оценка влияния изменений приходящей ФАР на температуру поверхности моря показала, что, на фоне главного фактора - поступления теплых атлантических вод с Норвежским течением, влияние радиации видимого диапазона наиболее ярко проявляется в июле-августе 2016 г. в условиях безоблачного неба.
- Результаты проверки точности спутниковых алгоритмов оценки поверхностной ФАР по данным непрерывных судовых измерений палубных радиометров в 65 и 68 рейсах НИС «Академик Мстислав Келдыш» в средней части Баренцева моря в 2016 и 2017 гг. показали, что относительная ошибка величины дневной экспозиции ФАР изменяется в пределах 2-44%, а средняя относительная ошибка равна 21%. Это хорошо согласуется с нашими прошлыми оценками (Vazyulya et al., 2016).

Литература

- Копелевич О.В., Вазюля С.В., Григорьев А.В., Храпко А.Н., Шеберстов С.В., Салинг И.В. Проникновение солнечной радиации видимого диапазона в воды Баренцева моря в зависимости от облачности и кохлитофоридных цветений // Океанология. 2017. Т. 57, № 3. С. 445-453.
- Frouin R., McPherson J., Ueyoshi K., Franz B. A. A time series of photosynthetically available radiation at the ocean surface from SeaWiFS and MODIS data // Proc. SPIE 8525. 2012. 852519.
- Khrarko A.N., Kopelevich O.V., Burenkov V.I., Grigoriev A.V., Terekhova A.A. New instrument for measuring surface and underwater irradiances // Proceedings of IV International Conference «Current Problems in Optics of Natural Waters» (ONW'2007). Nizhny-Novgorod. 2007. P. 271-275.
- Vazyulya S.V., Kopelevich O.V., Sheberstov S.V., Artemiev V.A. Estimation of sea surface solar radiation at 400-700 nm using satellite ocean color data, and its validation by ship data // Optics Express. 2016. V. 24. № 6. P. A604-A611.

Благодарность

Исследование выполнено за счет гранта РНФ № 14-50-00095, предоставленного Институту океанологии им. П.П. Ширшова РАН.