

ЗАГРЯЗНЕНИЕ, КОНТРОЛЬ, АНАЛИЗ И ОХРАНА ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

А.Г. Гранков

доктор физ.-мат. наук, ведущий научный сотрудник

Е.П. Новичихин

канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник

Н.К. Шелобанова

ведущий инженер

Фрязинский филиал Института радиотехники

и электроники им. В.А. Котельникова РАН

г. Фрязино, Российская Федерация

О ВЛИЯНИИ НЕФТЯНЫХ РАЗЛИВОВ В МЕКСИКАНСКОМ ЗАЛИВЕ В 2010 г. НА ТЕПЛОВЫЙ РЕЖИМ СЕВЕРНЫХ МОРЕЙ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОГО МОНИТОРИНГА

Проведен анализ влияния аварийных разливов нефти в Мексиканском заливе в апреле 2010 г. на среднемесячные значения температуры водной поверхности в Норвежско-Гренландской области Северной Атлантики, а также температуры водной поверхности и общего влагосодержания атмосферы в прибрежных областях Баренцева и Карского морей на основе данных измерений радиометра AMSR-E спутника EOS Aqua. Получены оценки отклонений пространственных распределений температуры водной поверхности и общего влагосодержания атмосферы в 2010 г. в данных акваториях от соответствующих характеристик за другие годы. Результаты анализа указывают на эффект ослабления притока тепла течением Гольфстрим и Северо-Атлантическим течением к акваториям данных морей с задержкой на несколько месяцев после начала нефтяных разливов.

Ключевые слова: Мексиканский залив, нефтяные разливы, Гольфстрим, северные моря, тепловой режим, спутниковая СВЧ-радиометрия.

A.G. Grankov

Doctor of Phys.-Math. Sciences, Leading Researcher

E.P. Novichikhin

Cand. of Phys.-Math. Sciences, Senior Researcher

N.K. Shelobanova

Leading Engineer

Fryazino Branch of the V.A. Kotelnikov Institute of Radio

Engineering and Electronics of the Russian Academy of Sciences

Fryazino, Russian Federation

ON THE IMPACT OF OIL SPILLS IN THE GULF OF MEXICO IN 2010 ON THE THERMAL REGIME OF THE NORTHERN SEAS BASED ON SATELLITE MONITORING DATA

An impact of accidental oil spills in the Gulf of Mexico in April 2010 on the average monthly values of the water surface temperature in the Norwegian-Greenland area of the North Atlantic, as well as the water surface temperature and total atmospheric moisture content in the coastal areas of the Barents and Kara seas retrieved from the measurements of the EOS Aqua AMSR-E radiometer is analyzed. Estimates of deviations of spatial distributions of water surface temperature and total atmospheric moisture content in 2010 in these waters from the corresponding characteristics for other years were obtained. The results of the analysis indicate the effect of attenuation of heat inflow by the Gulf Stream and the North Atlantic Current to the waters of these seas with a delay of several months after the start of oil spills.

Keywords: Gulf of Mexico, oil spills, northern seas, heat regime, thermal regime, satellite microwave radiometry.

Введение

Задача изучения влияния течения Гольфстрима на тепловой режим Северного Ледовитого океана и связанные с ним погодные условия, условия навигации, рыбного промысла в акваториях

северных морей России давно привлекала внимание исследователей. Еще более актуальной эта задача становится в наши дни в связи с признанием Северного морского пути, простирающегося от Баренцева до Берингова моря, наиболее приоритетной транспортной артерией России.

Одним из перспективных направлений ее решения является мониторинг температуры поверхности океана и интегрального содержания водяного пара в атмосфере (общего влагосодержания атмосферы) на основе регулярных СВЧ-радиометрических измерений со спутников. Данные параметры несут важную информацию о теплосодержании поверхностного слоя океана и о потенциале скрытого (латентного) тепла в атмосфере. Как показывают результаты исследований [1–3], спутниковый мониторинг поверхности океана и атмосферы в СВЧ-диапазоне позволяет анализировать тепловые и динамические процессы в различных энергоактивных областях Мирового океана: районах зарождения и развития тропических и среднеширотных циклонов, атмосферных реках, зонах распространения теплых и холодных течений.

В статье рассмотрена возможность использования спутниковых СВЧ-радиометрических средств для оценки влияния аварийных разливов нефти у истоков Гольфстрима – в Мексиканском заливе в апреле 2010 г. на среднемесячные значения температуры поверхности моря (ТПМ) и общего влагосодержания атмосферы (ОВА) в отдельных областях Норвежского, Баренцева и Карского морей. Разливы нефти, обнаруженные по спутниковым снимкам Джанлуиджи Зангари из Института Фраскати позволили исследователям сделать не только очевидные выводы об их последствиях – размывии границ между теплыми и холодными водами и снижении интенсивности испарений с водной поверхности в области течения Лоор Сигент в Мексиканском заливе, но и построить ряд гипотез, связанных с переносом тепла течением Гольфстрим в верхние широты – об угасании течения Гольфстрим и снижения влияния его продолжения (Северо-Атлантического течения) на погодно-климатические условия в западной Европе, в североευропейской части России и ее прибрежных зонах.

Нами анализируется влияние этого события на аномалии пространственно-временной изменчивости среднемесячных значений ТПМ и ОВА в акваториях Норвежского, Баренцевого и Карского морей. Приводятся оценки отклонений пространственных распределений ТПМ и ОВА в 2010 г. в данных акваториях от соответствующих данных за другие годы.

В работе используется глобальный архив NSIDC (National Snow & Ice Data Center) результатов тематической обработки данных измерений радиометра AMSR-E (Advanced Microwave

Scanning Radiometer) спутника EOS Aqua (2002 – 2011 гг.) – среднемесячные значения ТПМ и ОВА в виде сеточных значений с пространственным разрешением $0.25 \times 0.25^\circ$.

Реакция ТПМ в Норвежском море на нефтяные разливы

С помощью архива NSIDC данных измерений радиометра AMSR-E спутника EOS Aqua получены оценки среднемесячных значений ТПМ в Норвежском море на широте 70° в меридиональном поясе 10° з.д. – 10° в.д. Данную область ($0.25 \times 20^\circ$) можно рассматривать как пространственный разрез Норвежско-Гренландской энергоактивной зоны Северной Атлантики в направлении от холодного Гренландского течения к теплому Северо-Атлантическому течению.

Проведен сравнительный анализ данных о ТПМ в указанной области за период апрель-август 2010 года, соответствующий началу нефтяных разливов в Мексиканском заливе, и за аналогичный период 2009 года, предшествующего этому событию, а его результаты представлены на рисунке 1.

Из иллюстрации видно, что выбранная область характеризуется ярко выраженным положительным градиентом ТПМ в направлении от Гренландского к Северо-Атлантическому течению, достигающего 5°C в весенне-летние сезоны в 2009 году, предшествующему нефтяным разливам в Мексиканском заливе.

Величина градиента снижается до $2.5\text{--}3.5^\circ\text{C}$ в июле-августе 2010 года, что можно объяснить снижением притока тепла к рассматриваемой области Норвежского моря течениями Гольфстрим и Северо-Атлантического течения моря в результате нефтяных разливов 20 апреля.

Аномалии полей ТПМ и ОВА в Баренцевом море в 2010 г. [4]

Область наших интересов в Баренцевом море ($70\text{--}75^\circ\text{с.ш.}$, $35\text{--}50^\circ\text{в.д.}$) относится к начальной части Северного морского пути (порт Мурманск – южная оконечность Новой Земли). Благодаря переносу тепла водами Гольфстрима и Северо-Атлантического течения к Арктическому бассейну Баренцево море является незамерзающим круглогодично [5]. Вследствие этого для восстановления ТПМ и ОВА по данным спутниковым СВЧ-радиометрических измерений могут использоваться широко распространенные модели излучения чистой (свободной от ледовых включений)

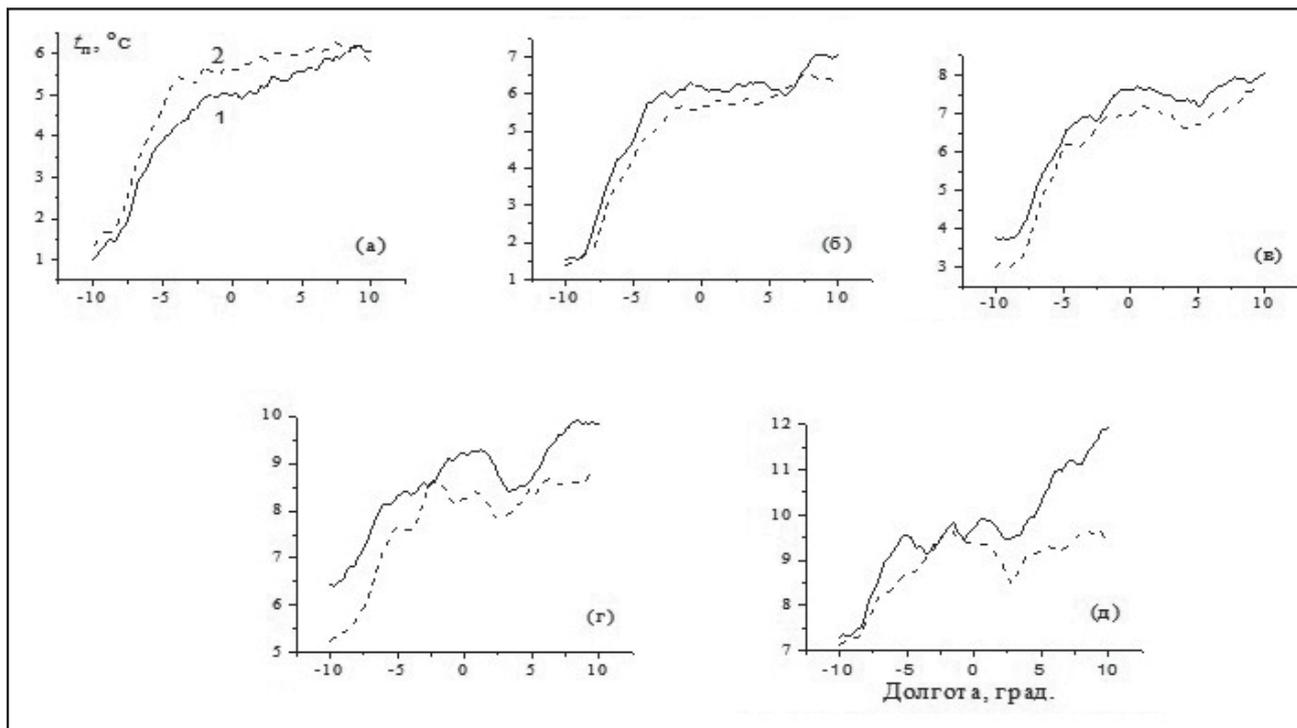


Рис. 1. Вариации среднемесячных значений ТПМ (t_n) в Норвежском море на широте 70° с.ш. в апреле (а), мае (б), июне (в), июле (г), августе (д) в 2009 г. (1) и 2010 гг. (2)

водной поверхности, на основе которых создаются спутниковые архивы океанографических и метеорологических параметров.

Для оценки последствий нефтяных разливов в Мексиканском заливе в конце апреля 2010 г. на температурный режим выделенной области Баренцевого моря проведен расчет годового хода фоновых (осредненных в пределах ее границ) среднемесячных значений ТПМ из спутникового архива NSIDC) в период апрель – декабрь 2010 г. и выполнено их сопоставление с соответствующими климатическими (среднегодовыми) значениями, а результаты представлены на рисунке 2.

Отмечаются существенные различия между значениями T_{2010} и $T_{\text{клим}}$, наиболее выраженные в августе – сентябре 2010 г. (через 4–5 месяцев после разливов нефти в Мексиканском заливе в апреле этого года), что может быть связано снижением адвекции тепла Гольфстримом в этот период.

К такому же выводу можно прийти, проводя сопоставление спутниковых данных о пространственной изменчивости среднемесячных значений ТПМ в сентябре 2010 г. в выделенной области Баренцевого моря со средними за сентябрь данными за 2009 и 2011 годы (рис. 3).

Численный анализ показывает, что фоновые средние за сентябрь значения ТПМ составляют: 5.9°C (2009 г.), 4.1°C (2010 г.), 6.9°C (2011 г.)

при среднемноголетнем (климатическом) значении 6.2°C .

Об ослаблении адвекции тепла течением Гольфстрим после разливов нефти в Мексиканском заливе свидетельствуют также результаты анализа спутниковых данных о пространственной изменчивости средних за сентябрь значений ОВА в 2009–2011 гг. в выделенной области Баренцевого моря (рис. 4).

Согласно данным анализа фоновые средние за сентябрь значения ОВА составляют: 13.4 кг/м^2 (2009 г.), 11.7 кг/м^2 (2010 г.), 15.0 кг/м^2 (2011 г.).

Аномалии полей ТПМ и ОВА в Карском море в 2010 г.

Проведено сопоставление спутниковых данных о пространственной изменчивости среднемесячных значений ТПМ в сентябре 2010 г. в области Карского моря $70\text{--}75^\circ$ с.ш., $60\text{--}75^\circ$ в.д. со средними за сентябрь данными за 2009 и 2011 годы (рис. 5). В этот период времени поверхность более сурового (по температурным характеристикам) по сравнению с Баренцевым Карского моря свободна ото льда и для восстановления значений ТПМ по данным спутниковых СВЧ-радиометрических измерений также могут использоваться модели излучения чистой водной поверхности.

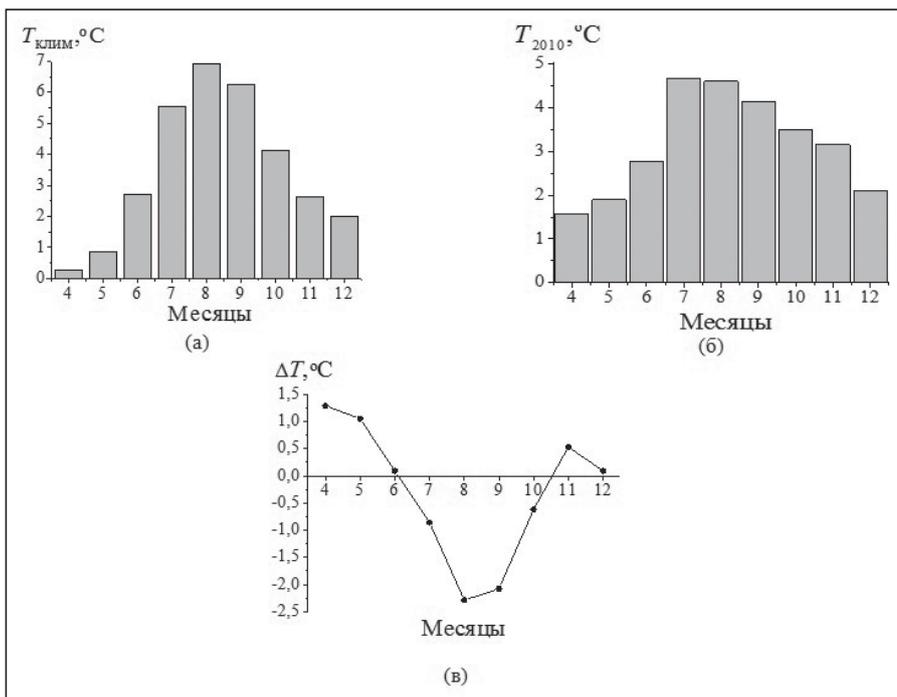


Рис. 2. Годовой ход параметров $T_{\text{клим}}$ [5] (а), T_{2010} (б) и их разности ΔT (в)

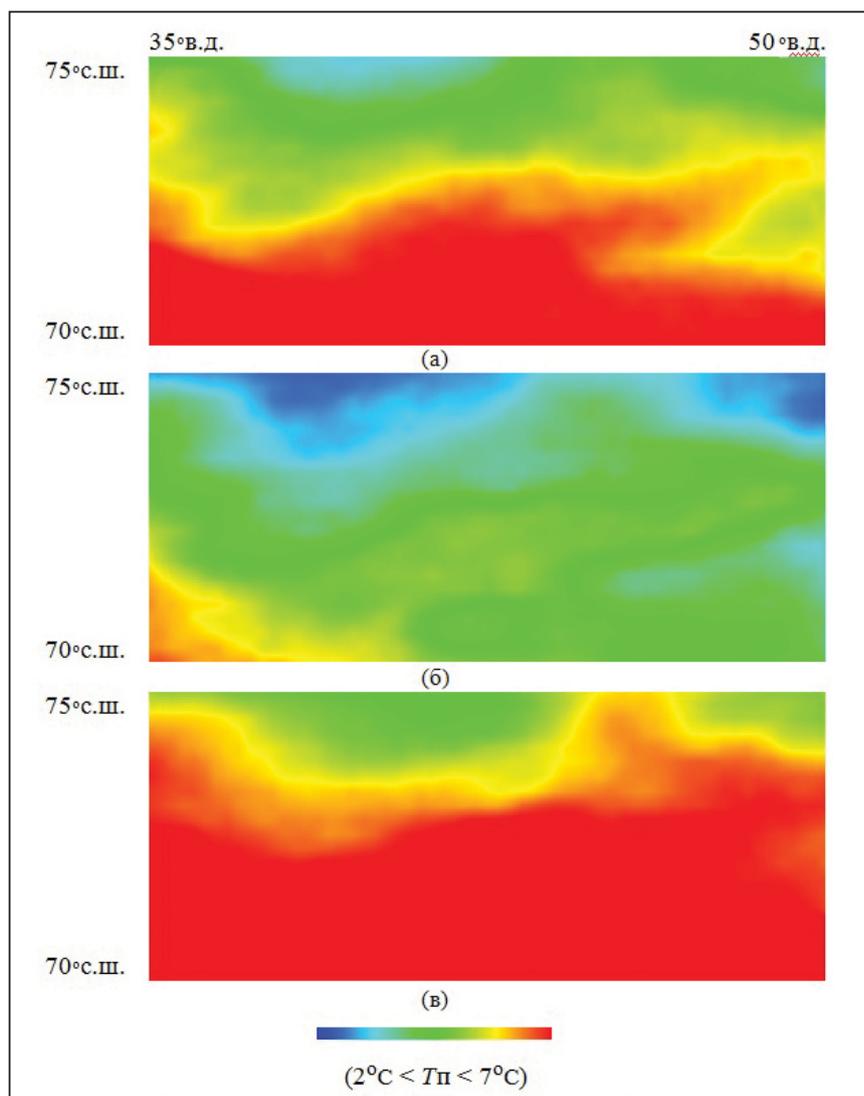


Рис. 3. Пространственное распределение в выделенной области Баренцевого моря средних за сентябрь значений ТПМ: (а) – 2009 г. (б) – 2010 г. (в) – 2011 г.

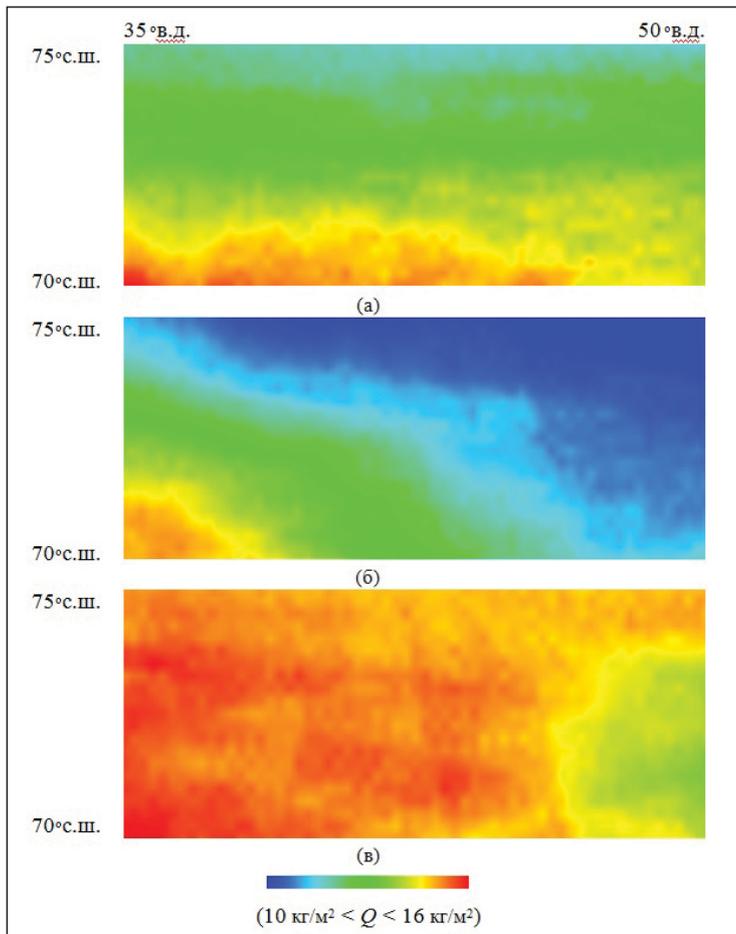
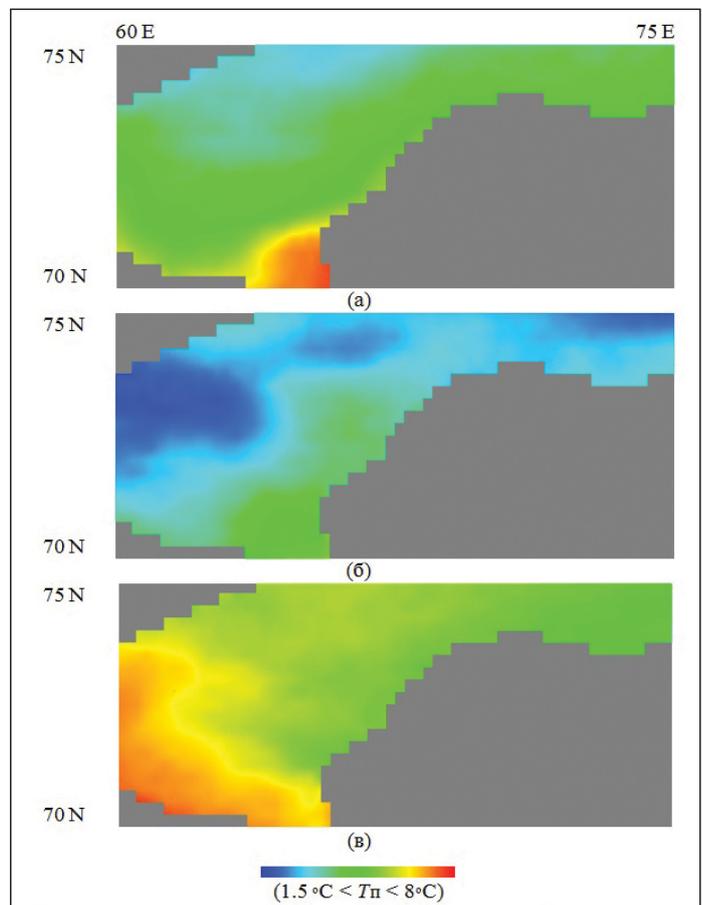


Рис. 4. Пространственное распределение в выделенной области Баренцевого моря средних за сентябрь значений ОВА: (а) – 2009 г. (б) – 2010 г. (в) – 2011 г.

Рис. 5. Пространственное распределение в выделенной области Карского моря средних за сентябрь значений ТПМ: (а) – 2009 г. (б) – 2010 г. (в) – 2011 г. Серым цветом выделены участки суши



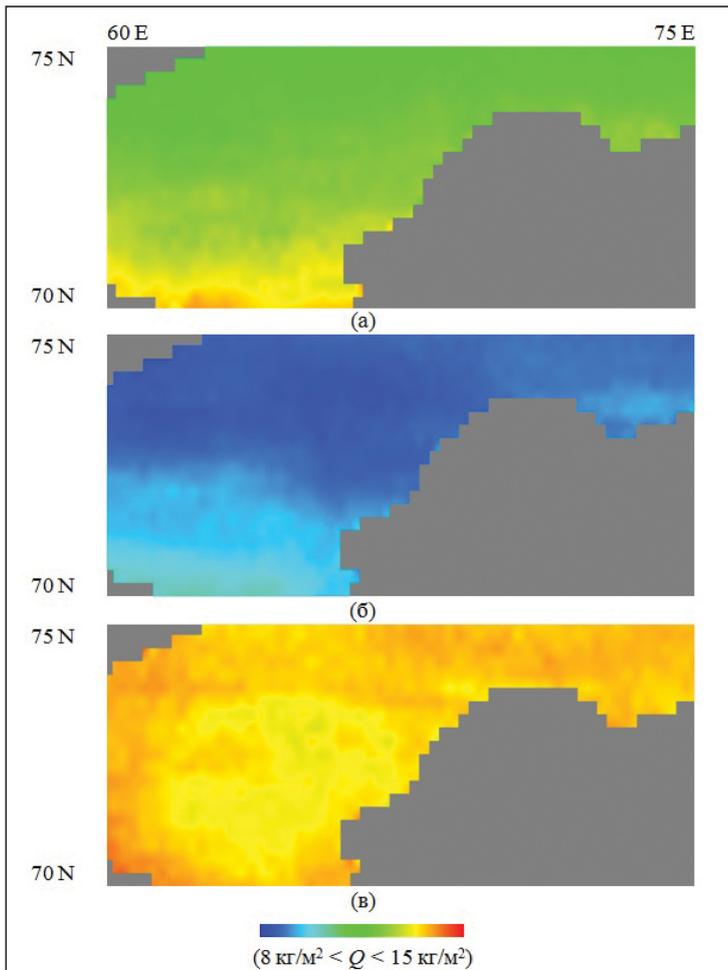


Рис. 6. Пространственное распределение в выделенной области Карского моря средних за сентябрь значений ОВА: (а) – 2009 г. (б) – 2010 г. (в) – 2011 г. Серым цветом выделены участки суши

Численный анализ полученных результатов показывает, что осредненные в выделенной области Карского моря) средние за сентябрь значения ТПМ составляют 4.4 °С (2009 г.), 3.1 °С (2010 г.), 5.8 °С (2011 г.), таким образом в 2010 году наблюдается минимальный приток тепла из Атлантического океана.

Об ослаблении адвекции тепла течением Гольфстрим после разливов нефти в Мексиканском заливе свидетельствуют также результаты анализа спутниковых данных о пространственной изменчивости средних за сентябрь значений ОВА в 2009–2011 гг. в рассматриваемой области Карского моря (рис. 6).

Здесь согласно данным численного анализа среднемесячные значения ОВА составляют: 12.2 кг/м² (2009 г.), 8.9 кг/м² (2010 г.), 13.6 кг/м² (2011 г.).

Заключение

Результаты анализа спутниковых данных указывают на появление аномалий полей ТПМ и ОВА

в окраинных морях Арктического бассейна вследствие аварийных разливов нефти в Мексиканском заливе в апреле 2010 г., что согласуется с известными сведениями о снижении адвекции тепла Гольфстримом в результате этого события. В частности, отмечаются существенное снижение фоновых (осредненных в пределах выделенных областей Баренцева и Карского морей) среднемесячных значений ТПМ и ОВА в августе – сентябре 2010 г., через 4–5 месяцев после нефтяных разливов – примерное время транспорта тепла течением Гольфстрим к Баренцеву и Карскому морям. В Норвежском море данный эффект наблюдается на 1–2 месяца раньше.

В качестве перспективной задачи спутникового СВЧ-радиометрического мониторинга северных морей можно рассматривать анализ влияния на их тепловой режим не только аварийных возмущений адвекции тепла Гольфстримом, но и ее естественных изменений, вызванных таянием арктических льдов и сопровождающихся изменениями термохалинной структуры течения. Также большой интерес представляет исследование возможностей

использования СВЧ-радиометрических методов обнаружения и мониторинга полярных мезомасштабных антициклонов, приносящих в моря Арктического бассейна холодные массы воздуха на основе спутниковых данных о температуре морской поверхности и общего влагосодержания атмосферы.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гранков А.Г., Мильшин А.А., Новичихин Е.П. *Спутниковая СВЧ-радиометрия тепловых и динамических процессов на поверхности океана и в атмосфере*. Российская Академия наук, 2022. 240 с.
2. Шарков Е.А., Шрамков Я.Н., Покровская И.В. Повышенное содержание водяного пара в атмосфере тропических широт как необходимое условие генезиса тропических циклонов // *Исследование Земли из космоса*. 2012. № 2. С. 73–82.
3. Ermakov D. *Satellite radiothermvision of atmospheric processes: method and applications*. Springer, Chaim, 2021. 199 p.
4. Гранков А.Г., Новичихин Е.П., Шелобанова Н.К. К оценке влияния течения Гольфстрим на тепловой режим Баренцева моря на основе данных спутниковых СВЧ-радиометрических измерений // *Всероссийские открытые Армандовские чтения [Электронный ресурс]: Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн / Материалы Всероссийской открытой научной конференции*. Муром: МИ ВлГУ, 2023.
5. *Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР (проект «Моря СССР»). Т. 1. Баренцево море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия / Ф.С. Терзиев, Г.В. Гирдюк, Г.Г. Зыкова, С.Л. Дженьюк (ред.)*. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 281 с.

REFERENCES

1. Grankov A.G., Milshin A.A., Novichikhin Ye.P. *Sputnikovaya SVCh-radiometriya teplovykh i dinamicheskikh protsessov na poverkhnosti okeana i v atmosphere* [Satellite microwave radiometry of thermal and dynamic processes on the ocean surface and in the atmosphere]. Rossiyskaya Akademiya nauk, 2022. 240 p.
2. Sharkov Ye.A., Shramkov Ya.N., Pokrovskaya I.V. Povyshennoe sodержanie vodyanogo para v atmosfere tropicheskikh shirot kak neobkhodimoe uslovie genezisa tropicheskikh tsiklonov [Increased water vapor content in the atmosphere of tropical latitudes as a necessary condition for the genesis of tropical cyclones]. *Issledovanie Zemli iz kosmosa* [Research Earth from Space]. 2012. № 2. Pp. 73–82.
3. Ermakov D. *Satellite radiothermvision of atmospheric processes: method and applications*. Springer, Chaim, 2021. 199 p.
4. Grankov A.G., Novichikhin Ye.P., Shelobanova N.K. K otsenke vliyaniya techeniya Golfstrim na teplovy rezhim Barentsevoogo morya na osnove dannykh sputnikovoykh SVCh-radiometricheskikh izmereniy [To assess the influence of the Gulf Stream current on the thermal regime of the Barents Sea based on satellite microwave radiometric measurements]. *Vserossiyskie otkrytye Armandovskie chteniya [Elektronnyy resurs]: Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya, radiolokatsii, rasprostraneniya i difraktsii voln. Materialy Vserossiyskoy otkrytoy nauchnoy konferentsii* [Modern problems of remote sensing, radar, wave propagation and diffraction / Materials of the All-Russian Open Scientific Conference]. Murom: MI VIGU, 2023.
5. *Gidrometeorologiya i gidrokimiya morey SSSR (proekt «Morya SSSR»). T. 1. Barentsevo more. Вып. 1. Гидрометеорологические условия / Ф.С. Терзиев, Г.В. Гирдюк, Г.Г. Зыкова, С.Л. Дженьюк (ред.)*. L.: Gidrometeoizdat, 1990. 281 p.



Информация об авторах

Гранков Александр Георгиевич, доктор физ.-мат. наук, ведущий научный сотрудник
Новичихин Евгений Павлович, канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник
Шелобанова Надежда Константиновна, ведущий инженер
Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН
141190, г. Фрязино, г. Зеленоград, Российская Федерация, пл. ак. Введенского, д. 1

Information about authors

Grankov Alexander Georgievich, Doctor of Phys.-Math. Sciences, Leading Researcher
Novichikhin Evgenii Pavlovich, Cand. of Phys.-Math. Sciences, Senior Researcher
Shelobanova Nadezhda Konstantinovna, Leading Engineer
Fryazino branch of the V.A. Kotelnikov Institute of Radio Engineering and Electronics of the Russian Academy of Sciences
141190, Fryazino, Russian Federation, square of ac. Vvedenskii, house 1