Сезонная изменчивость нефтяного загрязнения в Юго-Восточной Балтике

Е. В. Крек[1], А. В. Крек[1,2], А. Г. Костяной[1,3]

[1] *Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, Москва, 117997, Россия*
E-mail: elenka_krek@mail.ru
[2] *Балтийский федеральный университет им. И. Канта*
Калининград, 236041, Россия
E-mail: alexander.krek@gmail.com
[3] *Московский университет им. С. Ю. Витте, Москва, 115432, Россия*
E-mail: kostianoy@gmail.com

В статье приведены результаты оперативного спутникового мониторинга нефтяного загрязнения морской поверхности в Юго-Восточной Балтике за 2004–2015 гг. и ежемесячных натурных измерений концентрации нефтепродуктов с морской ледостойкой стационарной платформы (МЛСП) D-6 с 2011 по 2015 г. Исследование межсезонной динамики количества нефтяных пятен и площади нефтяного загрязнения по спутниковым данным выявило максимум в весенне-летний период. Большинство пятен (88 %), на которые приходится бóльшая часть суммарной площади нефтяного загрязнения (94 %), было обнаружено в период с марта по сентябрь, что, вероятно, связано с ограничением использования радиолокационного метода по скорости ветра в момент спутниковых измерений. При достаточно однородных значениях концентрации нефтепродуктов в поверхностном слое максимум средних измеренных значений пришёлся на весну и не превышал предельно допустимой концентрации. Минимальные значения наблюдались зимой и осенью. Сравнение данных спутниковых наблюдений и прямых измерений концентрации нефтепродуктов в поверхностном слое воды за период 2011–2015 гг. показало высокий коэффициент корреляции. Минимальные значения концентрации нефтепродуктов в поверхностном слое моря в осенне-зимний период также объясняются интенсивным ветровым и конвективным перемешиванием.

Ключевые слова: Балтийское море, радиолокационные изображения, нефтяное загрязнение, концентрация нефтепродуктов, сезонная изменчивость нефтяного загрязнения

Одобрена к печати: 26.01.2018
DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-2-171-182

Введение

С 2003 г. ведётся производственный экологический мониторинг нефтяного месторождения «Кравцовское» (морская ледостойкая стационарная платформа (МЛСП) D-6) ООО «ЛУКОЙЛ-КМН». В рамках мониторинга с 2004 г. ведутся оперативные спутниковые наблюдения за морской поверхностью на наличие нефтяного загрязнения в юго-восточной части Балтийского моря (Булычева, 2012; Булычева, Костяной, 2011; Булычева и др., 2016; Костяной и др., 2012; Лаврова и др., 2011; Немировская и др., 2011; Bulycheva et al., 2014, 2015, 2016; Kostianoy et al., 2004, 2005, 2006; Lavrova et al., 2014; Oil pollution..., 2014). Ежегодный спутниковый мониторинг показал, что при равномерном распределении полученных радиолокационных изображений в течение года существует сезонная изменчивость количества обнаруженных нефтяных пятен. Этот эффект неоднократно отмечался в отечественных и зарубежных публикациях, где он объяснялся особенностями гидрометеорологических условий в различные сезоны года (Лаврова и др., 2011), однако на большом массиве данных, который имеется по нефтяному загрязнению Юго-Восточной Балтики, он не проверялся.

В Юго-Восточной Балтике также проводятся систематические натурные измерения содержания нефтепродуктов (НП) в воде. Район расположения МЛСП D-6 значительно удалён от основных судоходных трасс (*рис. 1*, см. с. 172).

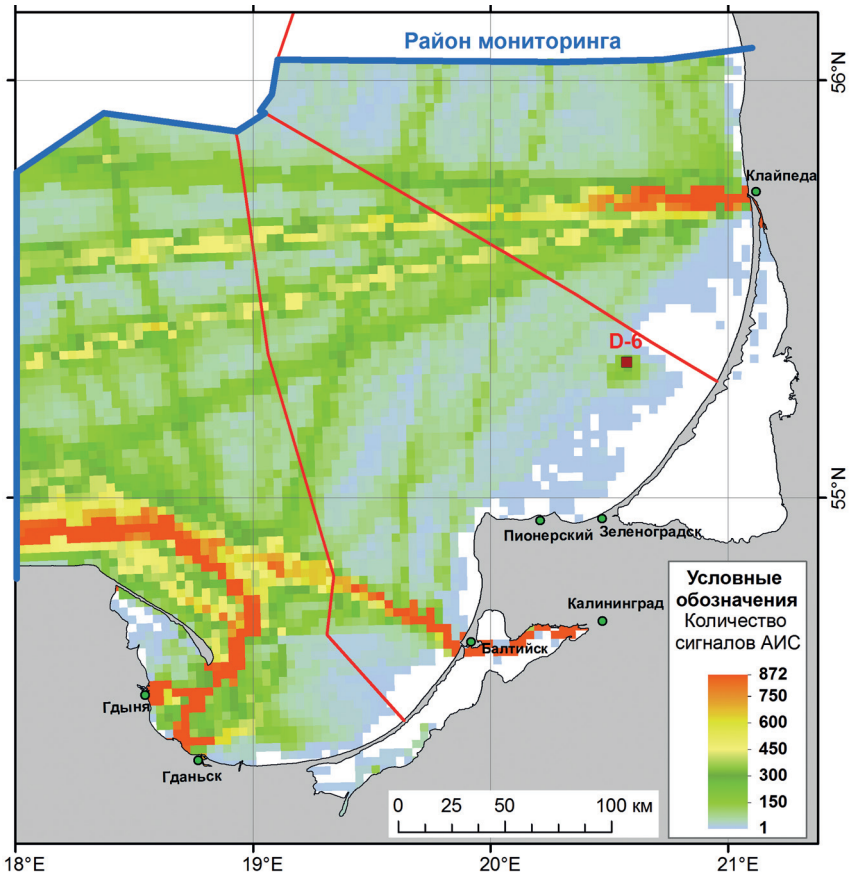


Рис. 1. Среднемесячная плотность сигналов АИС в Юго-Восточной Балтике (©HELCOM-2011)

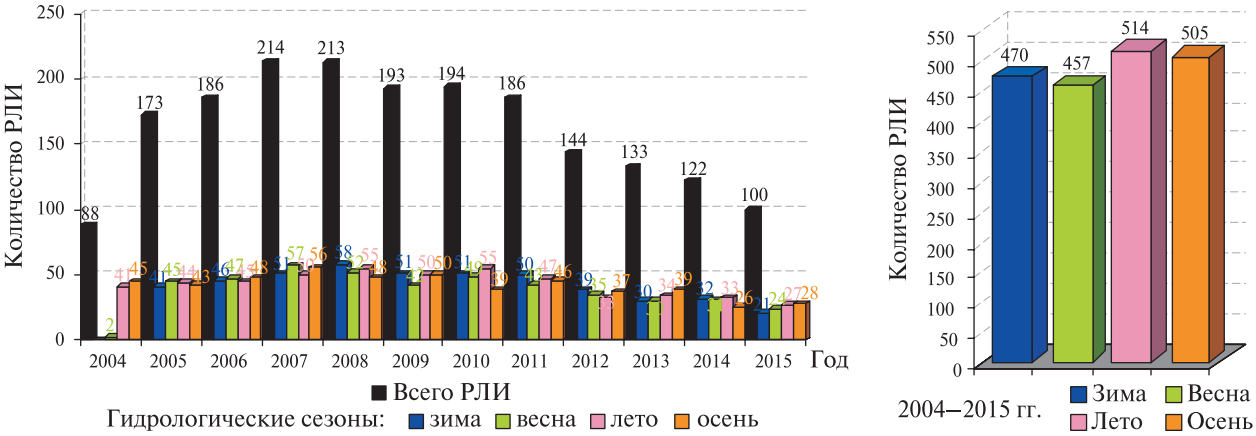
Поскольку загрязнения с МЛСП D-6 за весь период спутниковых наблюдений (2004–2015) выявлено не было, то данные о концентрации НП в поверхностном слое, полученные в районе платформы в ходе ежемесячных наблюдений с 2011 по 2015 г. (всего 57 измерений), можно считать фоновыми, отражающими естественное состояние исследуемой акватории.

Материалы и методы

Исследование сезонного распределения нефтяного загрязнения на морской поверхности происходило по гидрологическим сезонам, принятым для Гданьского бассейна: за зиму принят период с января по март, за весну — с апреля по июнь, за лето — с июля по сентябрь, за осень — с октября по декабрь (Берникова и др., 2007).

Спутниковые наблюдения

Для выявления сезонного распределения нефтяного загрязнения на морской поверхности в Юго-Восточной Балтике с 12 июня 2004 г. по 31 декабря 2015 г. было проанализировано 1946 радиолокационных изображений со спутников Envisat Европейского космического агентства (ESA), Radarsat-1 Канадского космического агентства (CSA), Radarsat-2 компании МакДональд, Деттвилер и Партнёры (MDA, Канада), COSMO-SkyMed-1, -2, -3, -4 Итальянского космического агентства (ASI) и TerraSAR-X Германского центра авиации и космонавтики (DLR). Приём и обработка РЛИ осуществлялись норвежским спутниковым оператором Kongsberg Satellite Services (KSAT) в Тромсё. Межгодовое распределение количества проанализированных РЛИ по сезонам представлено на *рис. 2* (см. с. 173).

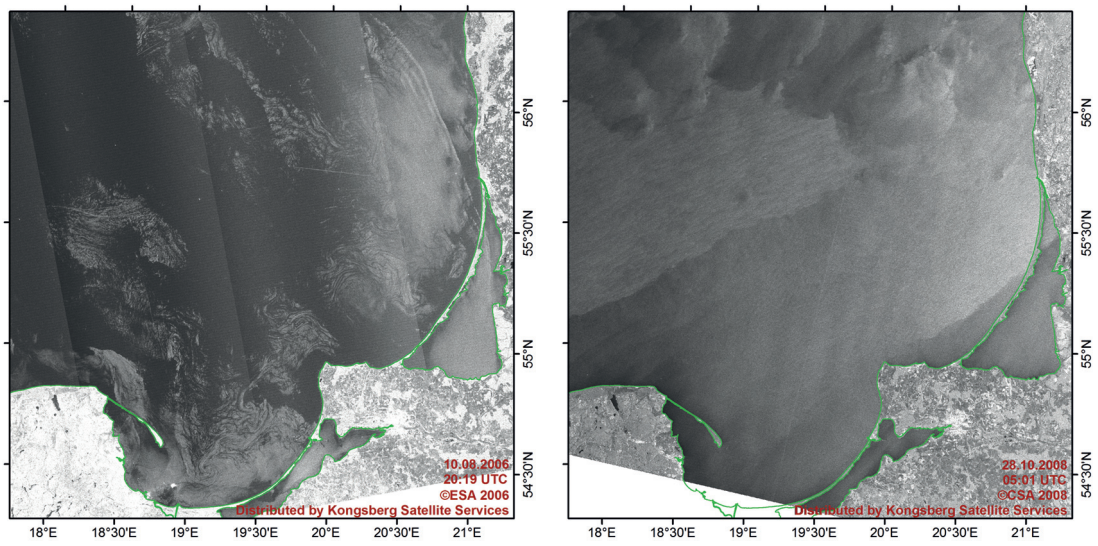


а *б*

Рис. 2. Сезонное распределение РЛИ, полученных и проанализированных со спутников, оснащённых радарами с синтезированной апертурой (РСА), с 2004 по 2015 г.: *а* — межгодовое; *б* — суммарное за 2004–2015 гг.

Преимущества радарных методов позволяют обнаружить нефтяные разливы на обширных территориях вне зависимости от облачности и времени суток. Ограничение метода состоит в том, что скорость ветра должна находиться в пределах 2–10 м/с (Brekke, Solberg, 2005). В условиях штиля или при сильных ветрах обнаружение нефтяного загрязнения радиолокационным методом практически невозможно (*рис. 3*). Чем толще нефтяная плёнка и чем свежее разлив, тем при более сильном ветре его можно обнаружить на РЛИ (Bern et al., 1992). Известен случай, когда при скорости ветра 13 м/с было обнаружено нефтяное загрязнение восточнее косы Хель в Гданьском заливе (*рис. 4*, см. с. 174).

Одной из проблем при дешифрировании РЛИ на наличие нефтяного загрязнения является схожесть радиолокационных образов нефтяных пятен с природными явлениями, которые также подавляют короткие волны на морской поверхности, образуя тёмные области на РЛИ. Такие тёмные области, вызванные природными явлениями, называют подобиями нефтяных пятен (Brekke, Solberg, 2005). Для Юго-Восточной Балтики наиболее типичными подобиями являются цветение водорослей и морской лёд (*рис. 5*, *6*; см. с. 174–175).



а *б*

Рис. 3. Пример непригодных для интерпретации на наличие нефтяного загрязнения РЛИ, полученных при неблагоприятных ветровых условиях: *а* — Envisat, скорость ветра <2 м/с (тёмные области соответствуют зоне штиля); *б* — Radarsat-1, скорость западного ветра 11–13 м/с

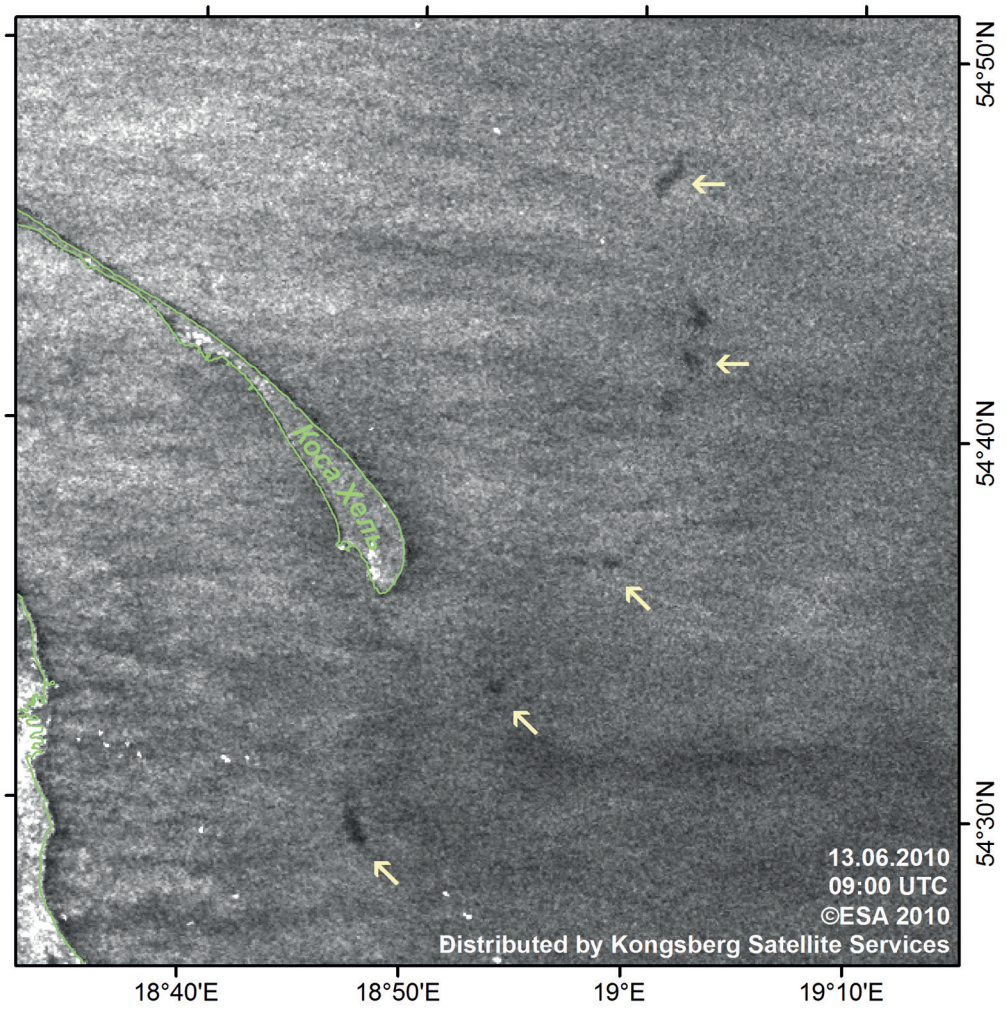
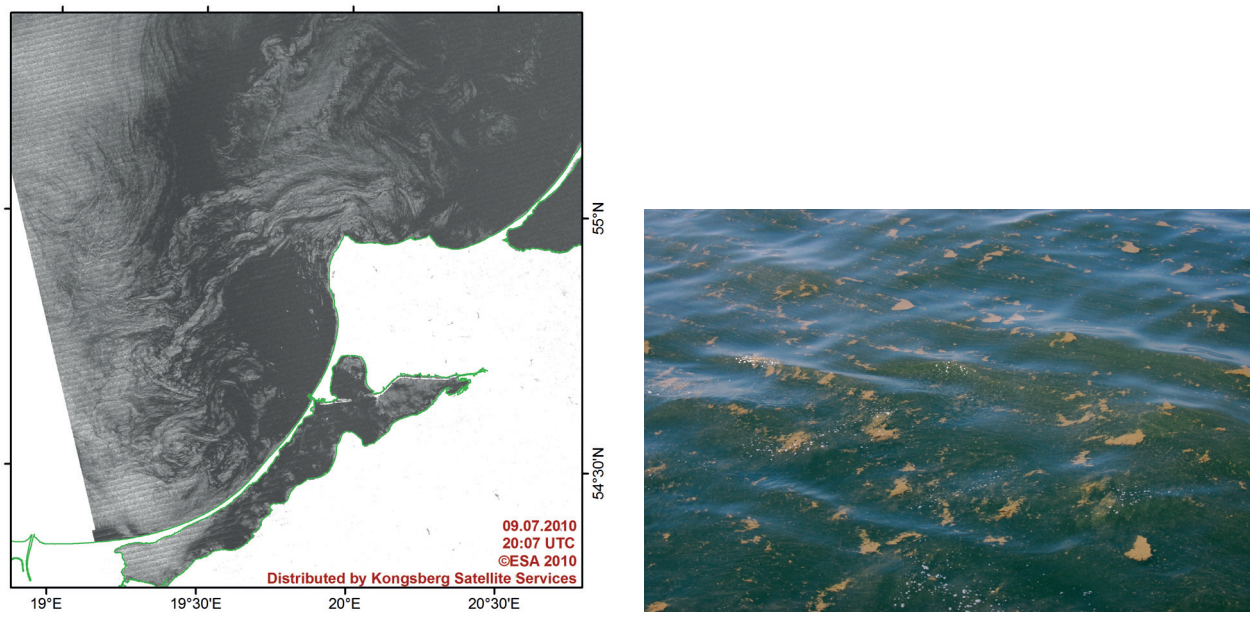
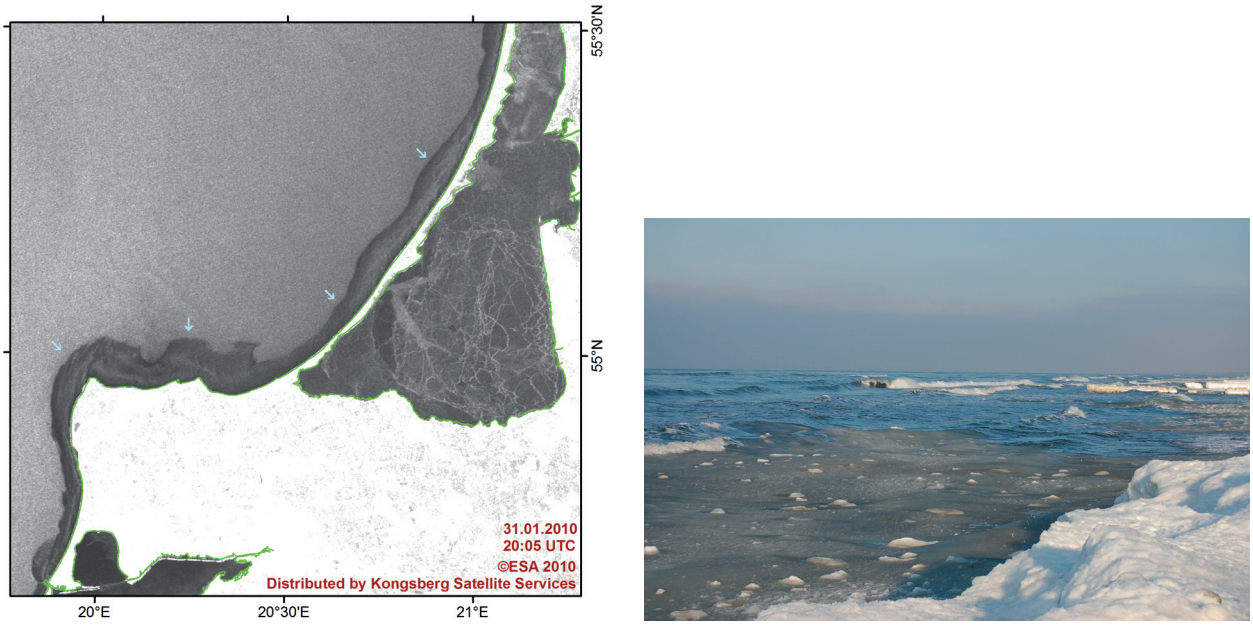


Рис. 4. Фрагмент РЛИ со спутника Envisat, полученного в условиях крепкого западного ветра (12–13 м/с). Стрелками показаны фрагменты разрушающегося нефтяного пятна



а *б*

Рис. 5. Цветение водорослей в Юго-Восточной Балтике 09.07.2010: *а* — по данным спутника ENVISAT; *б* — по данным визуальных наблюдений (фото: Е. В. Крек)



а *б*

Рис. 6. Распространение ледяного сала вдоль берега 31.01.2010: *а* — по данным ENVISAT (ледяное сало показано стрелками); *б* — по данным визуальных наблюдений (фото: Е. В. Крек)

Натурные измерения около МЛСП D-6

Натурные измерения концентрации НП в морской воде около МЛСП D-6 были выполнены в период с 2011 по 2015 г. (всего 57 измерений; данные за декабрь 2012 г., март 2013 г. и декабрь 2015 г. отсутствуют). Пробы воды отбирались пластиковым батометром с поверхностного горизонта (0,5–1,0 м) ежемесячно.

Концентрации НП в воде определялись в ФГУП АтлантНИРО (Калининград) флуориметрическим методом на анализаторе жидкости «Флюорат-02». Метод основан на экстракции нефтепродуктов гексаном и измерении концентрации нефтепродуктов в полученном экстракте.

Результаты

Спутниковые наблюдения

За весь период спутниковых наблюдений (2004–2015) было проанализировано 1946 РЛИ (см. *рис. 2*), на которых было идентифицировано 1232 нефтяных пятна, из них 638 находились в районе мониторинга (*рис. 7–9*, см. с. 176–177). Наибольшее количество нефтяных пятен было обнаружено в весенне-летний период (*рис. 8б*).

В качестве параметров межгодовой сезонной изменчивости нефтяного загрязнения поверхности моря было выбрано количество и площадь обнаруженных за 2004–2015 гг. нефтяных пятен (*рис. 8–10*, см. с. 177). Пятна оцифровывались в программном пакете ArcGIS 10.1, где вычислялась их площадь.

На *рис. 8* и *9* видно, что большинство пятен (88 %), на которые приходится бóльшая часть суммарной площади нефтяного загрязнения (94 %), было обнаружено в период с марта по сентябрь. Это связано в основном с ограничениями радиолокационного метода по скорости ветра (Лаврова и др., 2011). По климатическим данным и по данным с АГМС, установленной на МЛСП D-6, для Юго-Восточной Балтики с сентября по март характерна наибольшая повторяемость сильных и штормовых ветров, а в декабре – январе в регионе, как правило, проявляется наибольшая штормовая активность.

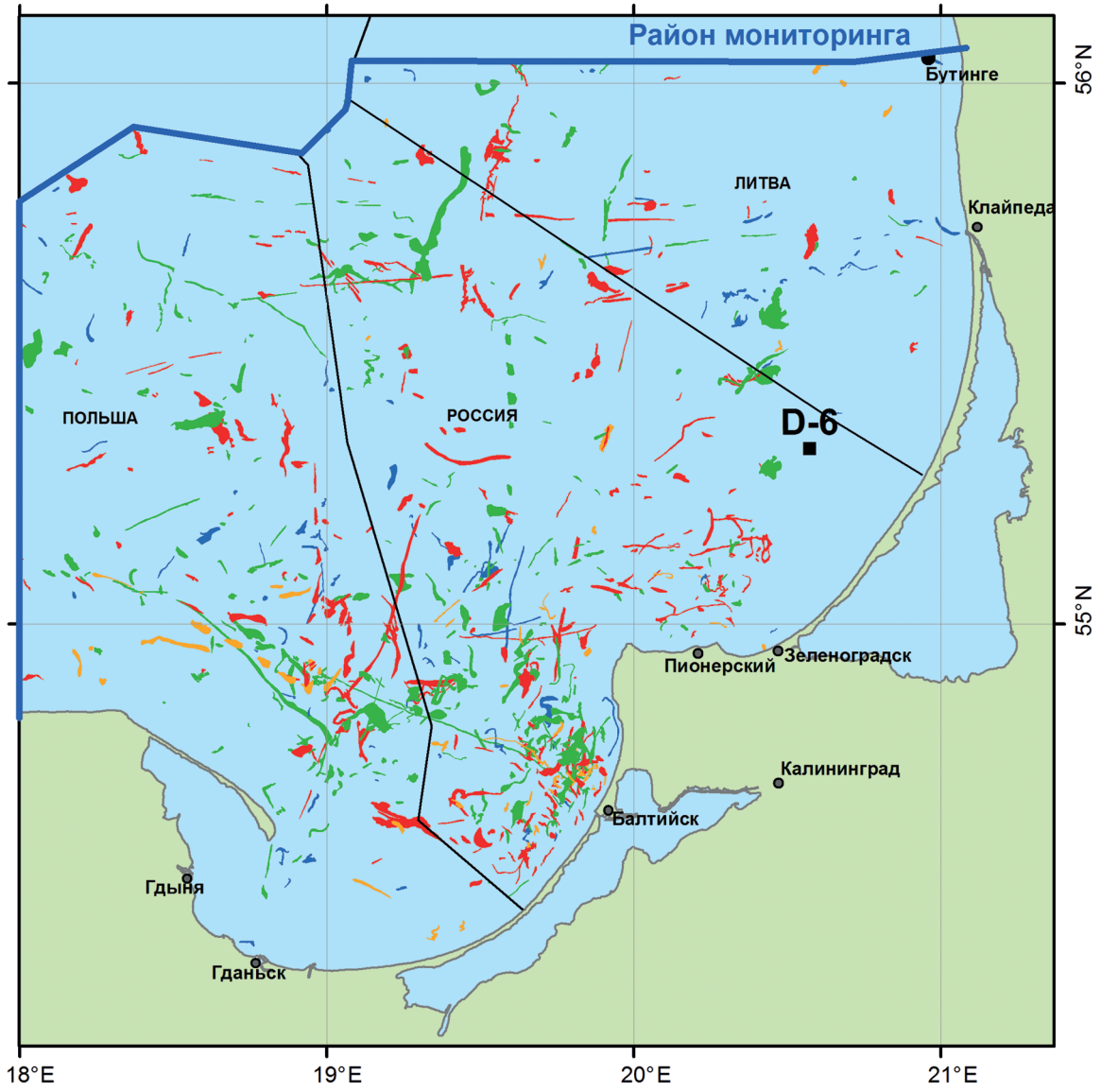
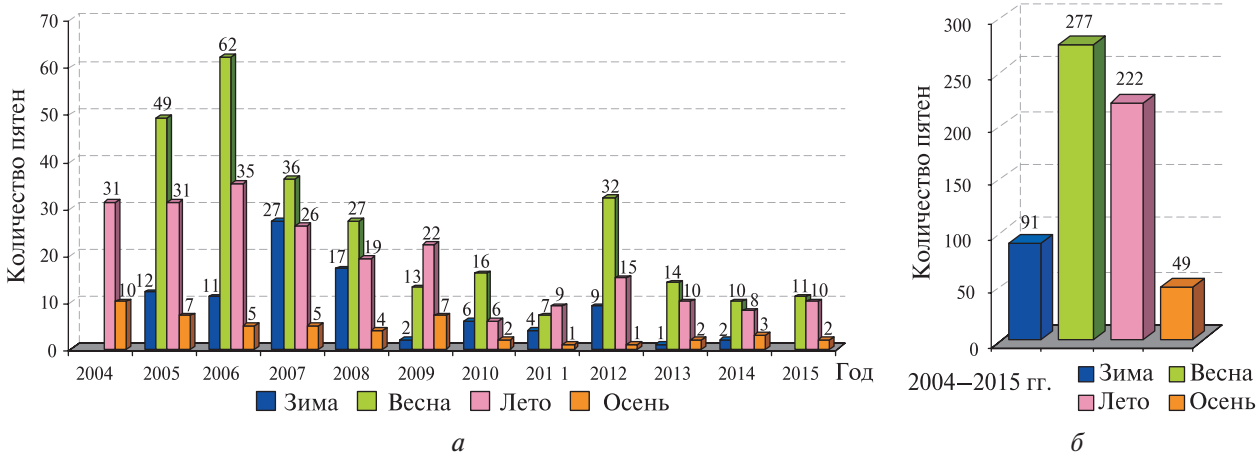


Рис. 7. Сводная карта нефтяных пятен, обнаруженных в ходе анализа РЛИ с 12.06.2004 по 31.12.2015 в районе мониторинга. Синим цветом показаны пятна, обнаруженные зимой, зелёным — весной, красным — летом, оранжевым — осенью



а *б*

Рис. 8. Сезонное распределение количества нефтяных пятен, обнаруженных в районе мониторинга в результате анализа спутниковых РЛИ Юго-Восточной Балтики с 2004 по 2015 г.: *а* — межгодовое; *б* — суммарное за 2004–2015 гг.

Среднемесячное количество штормов плавно падает от максимума в январе до одного-двух в мае – августе и вновь возрастает к осеннему максимуму в ноябре (Стонт и др., 2012). Как следствие сильных ветров, сформировавшееся волнение способствует быстрому образованию эмульсии «вода в нефти» и «нефть в воде», что препятствует возникновению поверхностных нефтяных плёнок (Немировская, 2004, 2013).

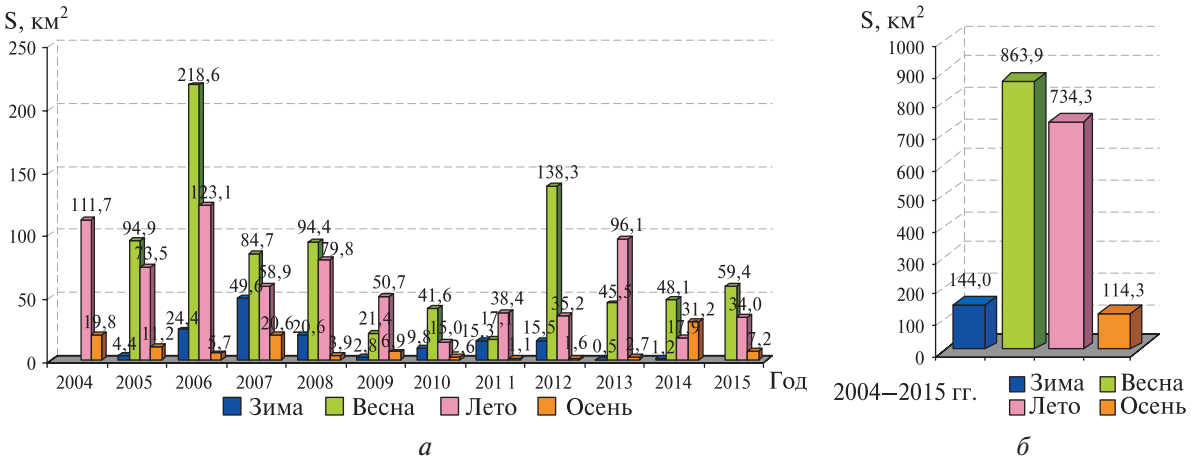


Рис. 9. Сезонное распределение площади нефтяных пятен, обнаруженных в районе мониторинга в результате анализа спутниковых РЛИ Юго-Восточной Балтики с 2004 по 2015 г.: *а* — межгодовое; *б* — суммарное за 2004–2015 гг.

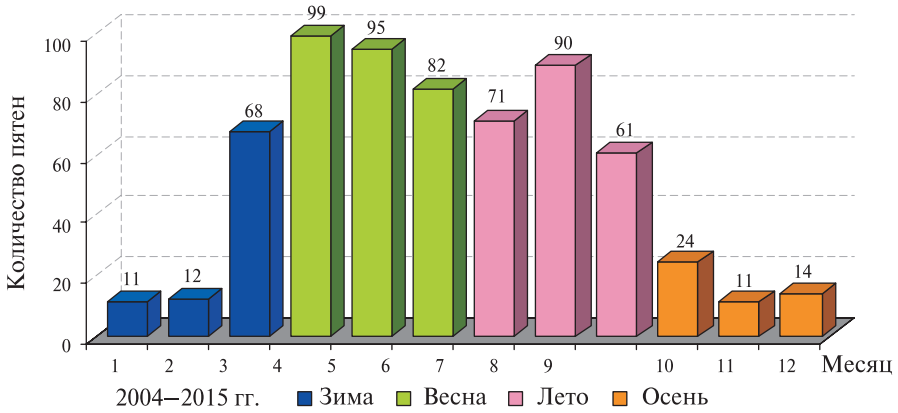


Рис. 10. Внутрисезонная суммарная изменчивость количества нефтяных пятен, обнаруженных в результате анализа РЛИ с 2004 по 2015 г.

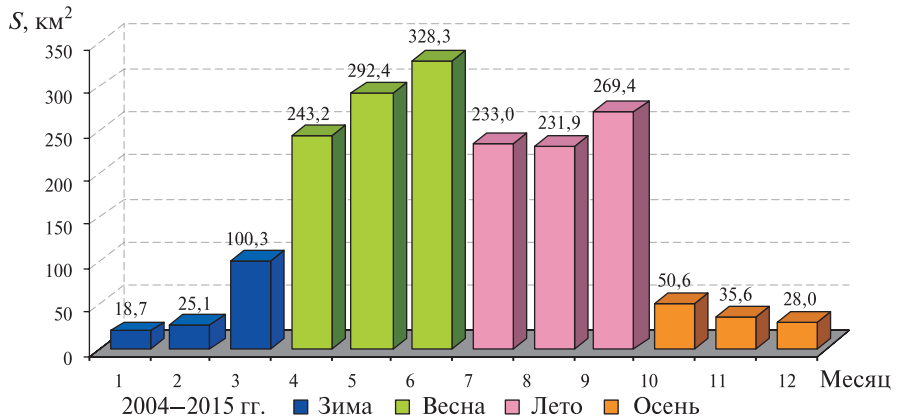


Рис. 11. Внутрисезонная суммарная изменчивость площади нефтяных пятен, обнаруженных в результате анализа РЛИ с 2004 по 2015 г.

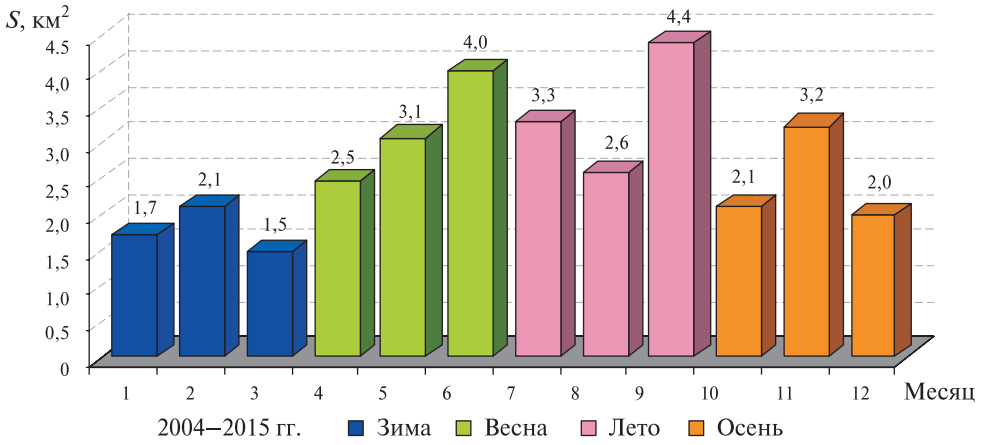


Рис. 12. Внутрисезонная изменчивость средней площади нефтяных пятен, обнаруженных в результате анализа РЛИ с 2004 по 2015 г.

Бóльшие площади нефтяного загрязнения также наблюдаются в весенне-летний период с максимумом в июне (*рис. 11*, см. с. 177). При этом наибольшие средние площади пятен приходятся на июнь и сентябрь — 4,0 и 4,4 км^2 соответственно (*рис. 12*).

Натурные измерения

По результатам натурных исследований сезонный ход концентрации нефтепродуктов в поверхностном слое оказался достаточно однородным. Максимальные средние значения концентрации были отмечены весной (0,027±0,015 мг/л), минимальные — зимой и осенью (0,021±0,011 и 0,021±0,009 мг/л соответственно). Средние концентрации нефтепродуктов летом составляли 0,024±0,017 мг/л (*рис. 13а*). Превышение ПДК (0,05 мг/л) было зафиксировано в двух случаях: в сентябре 2013 г. (0,065 мг/л) и в апреле 2014 г. (0,068 мг/л). Согласно спутниковым наблюдениям, за аналогичный период максимум обнаружения нефтяных пятен также приходился на весну, а минимум — на зиму и осень (*рис. 13б*).

Коэффициент корреляции спутниковых и натурных измерений НП составил 0,96, что говорит о тесной линейной статистической связи между спутниковыми и натурными данными. Такая связь может быть объяснена эмульгированием нефти (Немировская, 2004) и дальнейшим распространением эмульсии по акватории.

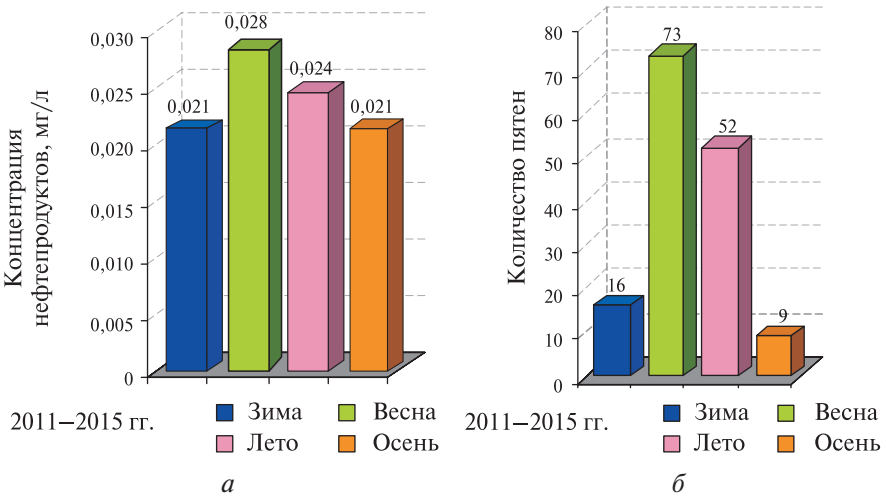


Рис. 13. Сезонная изменчивость распределения концентраций НП по данным натурных (*а*) и спутниковых (*б*) измерений (количество нефтяных пятен) за 2011–2015 гг.

Выводы

В результате проведённого исследования показано, что максимальное количество нефтяных пятен на морской поверхности в Юго-Восточной Балтике по спутниковым данным за 2004–2015 гг. было зафиксировано в период с марта по сентябрь, что связано с благоприятными для дешифрирования РЛИ ветровыми условиями в весенне-летний период года. Сильные ветры и штормовые условия в осенне-зимний период препятствуют обнаружению нефтяных пятен на поверхности моря из-за ограничения самого радиолокационного метода детектирования сликов на морской поверхности и из-за образования эмульсии «вода в нефти» и «нефть в воде», что препятствует возникновению поверхностных нефтяных плёнок. Бóльшие площади нефтяного загрязнения также наблюдаются в весенне-летний период с максимумом в июне. Средняя площадь нефтяного пятна составляла 2,7 км^2 и от месяца к месяцу варьировалась в пределах 1,5–4,4 км^2, при этом наибольшие средние площади пятен приходились на июнь и сентябрь — 4,0 и 4,4 км^2 соответственно.

В сезонном ходе концентрации НП, измеренных *in situ*, выделялся небольшой максимум весной, а минимум — зимой и осенью, что хорошо коррелировало с результатами спутниковых измерений количества нефтяных пятен за аналогичный период (2011–2015): коэффициент корреляции составил 0,96. Минимальные значения концентрации НП в верхнем слое моря в осенне-зимний период также объясняются интенсивным ветровым и конвективным перемешиванием. Влияние удалённого потенциального источника загрязнения (район интенсивного судоходства к западу от Самбийского полуострова) на акваторию возле МЛСП D-6 обусловлено особенностями циркуляции вод и переноса вещества у берегов Калининградской области (Meier, 2007; Булычева и др., 2016).

Авторы выражают благодарность ООО «ЛУКОЙЛ-КМН» за предоставленные радиолокационные данные и данные натурных измерений. Крек Е. В. выполняла исследование сезонной изменчивости нефтяного загрязнения по спутниковым данным при поддержке темы госзадания «Морские природные системы Балтийского моря и Атлантического океана: формирование природных комплексов Балтийского моря и их изменение под влиянием Атлантического океана и антропогенного воздействия» (№ 0149-2018-0012). Крек А. В. занимался анализом нефтяного загрязнения морской воды по судовым измерениям за счёт Программы повышения конкурентоспособности БФУ им. И. Канта «5-100». Костяной А. Г. занимался статистическим анализом полученных данных за счёт гранта Российского научного фонда (проект № 14-17-00555).

Литература

1. *Берникова Т. А.*, *Дубравин В. Ф.*, *Нагорнова Н. Н.*, *Стонт Ж. И.* Климатические сезоны Южной Балтики // 5-я Международная научная конференция «Инновации в науке и образовании-2007»: сб. тр. Ч. 1. Калининград: Изд-во КГТУ, 2007. С. 53–55.
2. *Булычева Е. В.* Нефть и окружающая среда Калининградской области // Нефтяное загрязнение поверхности моря в 2006–2009 гг. по данным спутниковой радиолокации. Т. 2: Море. Калининград: Янтарный сказ, 2012. С. 518–529.
3. *Булычева Е. В.*, *Костяной А. Г.* Результаты спутникового мониторинга нефтяного загрязнения юго-восточной части Балтийского моря в 2006–2009 гг. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 2. С. 74–83.
4. *Булычева Е. В.*, *Крек А. В.*, *Костяной А. Г.* Нефтяное загрязнение Юго-Восточной Балтики по спутниковым наблюдениям и натурным данным // Океанология. 2016. Т. 56. № 1. С. 81–89.
5. *Костяной А. Г.*, *Литовченко К. Ц.*, *Лаврова О. Ю.*, *Митягина М. И.*, *Бочарова Т. Ю.*, *Лебедев С. А.*, *Станичный С. В.*, *Соловьев Д. М.*, *Сирота А. М.* Нефть и окружающая среда Калининградской области // Комплексный оперативный спутниковый мониторинг в 2004–2005 гг. Т. 2: Море. Калининград: Янтарный сказ, 2012. С. 483–518.
6. *Лаврова О. Ю.*, *Костяной А. Г.*, *Лебедев С. А.*, *Митягина М. И.*, *Гинзбург А. И.*, *Шеремет Н. А.* Комплексный спутниковый мониторинг морей России. М.: ИКИ РАН, 2011. 470 с.

7. *Немировская И. А.* Углеводороды в океане (снег-лед-вода-взвесь-донные осадки). М.: Науч. мир, 2004. 328 с.
8. *Немировская И. А.* Нефть в океане. Загрязнение и природные потоки. М.: Науч. Мир, 2013. 439 с.
9. *Немировская И. А.*, *Сивков В. В.*, *Булычева Е. В.* Содержание и состав углеводородов в районе месторождения «Кравцовское» Балтийского моря // Доклады РАН. 2011. С. 520–525.
10. *Стонт Ж. И.*, *Гущин О. А.*, *Дубравин В. Ф.* Штормовые ветра Юго-Восточной Балтики по данным автоматической гидрометеорологической станции в 2004–10 гг. // Изв. РГО. 2012. Т. 144. Вып. 1. С. 39–46.
11. *Bern T.-I.*, *Moen S.*, *Wahl T.*, *Anderssen T.*, *Olsen R.*, *Johannessen J. A.* Oil spill detection using satellite based SAR: Completion report for Phase 0 and 1. Tech. rep. OCEANOR report no. OCNR92071. Trondheim. Norway. 1992.
12. *Brekke C.*, *Solberg A.* Oil spill detection by satellite remote sensing in the world oceans // Remote Sensing of Environment. 2005. No. 95. P. 1–13.
13. *Bulycheva E.*, *Kuzmenko I.*, *Sivkov V.* Annual sea surface oil pollution of the south-eastern part of the Baltic Sea by satellite data for 2006–2013 // Baltica. 2014. V. 27. Special Iss. Vilnius. P. 9–14.
14. *Bulycheva E. V.*, *Krek A. V.*, *Kostianoy A. G.*, *Semenov A. V.*, *Joksimovich A.* Oil pollution of the Southeastern Baltic Sea by satellite remote sensing data and in-situ measurements // Transport and Telecommunication. 2015. V. 16. No. 4. P. 296–304.
15. *Bulycheva E. V.*, *Krek A. V.*, *Kostianoy A. G.*, *Semenov A. V.*, *Joksimovich A.* Oil pollution in the Southeastern Baltic Sea by satellite remote sensing data in 2004–2015 // Transport and Telecommunication. 2016. V. 17. No. 2. P. 155–163.
16. *Kostianoy A. G.*, *Lebedev S. A.*, *Litovchenko K. Ts.*, *Stanichny S. V.*, *Pichuzhkina O. E.* Satellite remote sensing of oil spill pollution in the southeastern Baltic Sea // Gayana. 2004. V. 68. No. 2. Pt. 2. P. 327–332.
17. *Kostianoy A. G.*, *Lebedev S. A.*, *Soloviev D. M.*, *Pichuzhkina O. E.* Satellite monitoring of the Southeastern Baltic Sea: Annual Report 2004. Kaliningrad: Lukoil-Kaliningradmorneft, 2005. 36 p.
18. *Kostianoy A. G.*, *Litovchenko K. Ts.*, *Lavrova O. Yu.*, *Mityagina M. I.*, *Bocharova T. Yu.*, *Lebedev S. A.*, *Stanichny S. V.*, *Soloviev D. M.*, *Sirota A. M.*, *Pichuzhkina O. E.* Operational satellite monitoring of oil spill pollution in the southeastern Baltic Sea: 18 months experience // Environmental Research, Engineering and Management. 2006. No. 4(38). P. 70–77.
19. *Lavrova O. Yu.*, *Mityagina M. I.*, *Kostianoy A. G.*, *Semenov A. V.* Oil pollution in the Southeastern Baltic Sea in 2009–2011 // Transport and Telecommunication. 2014. V. 15. No. 4. P. 322–331.
20. *Meier H. E. M.* Modelling the pathway sand ages of inflowing salt- and freshwater in the Baltic Sea // Estuarine Coastal and Shelf Science. 2007. V. 4. Iss. 4. P. 610–627.
21. Oil pollution in the Baltic Sea / eds. Kostianoy A. G., Lavrova O. Yu. Berlin, Heidelberg, N. Y.: Springer-Verlag, 2014. V. 27. 268 p.

Seasonal variability of oil pollution in the Southeastern Baltic Sea

E. V. Krek[1], A. V. Krek[1,2], A. G. Kostianoy[1,3]

[1] *P. P. Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow 117997, Russia*
E-mail: elenka_krek@mail.ru
[2] *Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad 236041, Russia*
E-mail: av_krek_ne@mail.ru
[3] *S. Yu. Witte Moscow University, Moscow 115432, Russia*
E-mail: kostianoy@gmail.com

The paper presents the results of operational satellite monitoring of oil pollution of the sea surface in the Southeastern Baltic in 2004–2015, and monthly in-situ measurements of the concentration of oil products near offshore ice-resistant fixed platform (OIFP) D-6 from 2011 to 2015. The study of the inter-seasonal dynamics of the number of oil spills and the area of oil pollution by satellite data revealed a maximum in the spring-summer period. Most of the spills (88 %), which account for the largest part of the total area of oil pollution (94 %), were found from March to September, probably due

to the limitation of the radar method for wind speed at the time of satellite observation. At sufficiently uniform values of the concentration of oil products in the surface layer, the maximum of the average measured values fell in spring and did not exceed the maximum permissible concentration. Minimum values were recorded in winter and autumn. Comparison of satellite observations and direct measurements of the concentration of oil products in the surface water layer for the period 2011–2015 showed a high correlation coefficient. Intensive wind and convective mixing explain the minimum values of the concentration of oil products in the surface layer of the sea in the autumn-winter period.

Keywords: The Baltic Sea, radar images, oil pollution, concentration of oil products, seasonal variability of oil pollution

Accepted: 26.01.2018
DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-2-171-182

References

1. Bernikova T. A., Dubravin V. F., Nagornova N. N., Stont Zh. I., Klimaticheskie sezony Yuzhnoi Baltiki (The climatic seasons of the Southern Baltic), *V Mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya "Innovatsii v nauke i obrazovanii-2007"* (5th International Scientific Conference "Innovations in Science and Education-2007"), Proc. Intern. Conf., Vol. 1, Kaliningrad: KGTU, 2007, pp. 53–55.
2. Bulycheva E. V., Neftyanoe zagryaznenie poverkhnosti morya v 2006–2009 gg. po dannym sputnikovoi radiolokatsii (Oil pollution of the sea surface in 2006–2009 based on satellite radiolocation), In: *Neft' i okruzhayushchaya sreda Kaliningradskoi oblasti. T. 2: More* (Oil and environment of the Kaliningrad Region. Vol. 2: The Sea), Kaliningrad: Yantarnyi skaz, 2012, pp. 518–529.
3. Bulycheva E. V., Kostyanoi A. G., Rezul'taty sputnikovogo monitoringa neftyanogo zagryazneniya yugo-vostochnoi chasti Baltiiskogo morya v 2006–2009 gg. (Results of satellite monitoring of oil pollution in the Southeastern Baltic Sea in 2006–2009), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2011, Vol. 8, No. 2, pp. 74–83.
4. Bulycheva E. V., Krek A. V., Kostyanoi A. G., Neftyanoe zagryaznenie Yugo-Vostochnoi Baltiki po sputnikovym nablyudeniyam i naturnym dannym (Oil pollution in the Southeastern Baltic Sea from satellite observations and in-situ data), *Okeanologiya*, 2016, Vol. 56, No. 1, pp. 81–89.
5. Kostyanoi A. G., Litovchenko K. Ts., Lavrova O. Yu., Mityagina M. I., Bocharova T. Yu., Lebedev S. A., Stanichnyi S. V., Solov'ev D. M., Sirota A. M., Kompleksnyi operativnyi sputnikovyi monitoring v 2004–2005 gg. (Integrated operational satellite monitoring in 2004–2005), In: *Neft' i okruzhayushchaya sreda Kaliningradskoi oblasti. T. 2: More* (Oil and environment of the Kaliningrad Region. Vol. 2: The Sea), Kaliningrad: Yantarnyi skaz, 2012, pp. 483–518.
6. Lavrova O. Yu., Kostyanoi A. G., Lebedev S. A., Mityagina M. I., Ginzburg A. I., Sheremet N. A., *Kompleksnyi sputnikovyi monitoring morei Rossii* (Integrated satellite monitoring of Russian seas), Moscow: IKI RAN, 2011, 470 p.
7. Nemirovskaya I. A., *Uglevodorody v okeane* (*sneg-led-voda-vzves'-donnye osadki*) (Hydrocarbons in the ocean (snow-ice-water-suspended matter-bottom sediments)), Moscow: Nauchnyi Mir, 2004, 328 p.
8. Nemirovskaya I. A., *Neft' v okeane. Zagryaznenie i prirodnye potoki* (Oil in the ocean. Contamination and natural fluxes), Moscow: Nauchnyi Mir, 2013, 439 p.
9. Nemirovskaya I. A., Sivkov V. V., Bulycheva E. V., Soderzhanie i sostav uglevodorodov v raione mestorozhdeniya Kravtsovskoe Baltiiskogo morya (Content and composition of hydrocarbons in the Kravtsovskoe oil field region, the Baltic Sea), *Doklady RAN*, 2011, pp. 520–525.
10. Stont Zh. I., Gushchin O. A., Dubravin V. F., Shtormovye vetra Yugo-Vostochnoi Baltiki po dannym avtomaticheskoi gidrometeorologicheskoi stantsii v 2004–10 gg. (Storm winds in the Southeastern Baltic according to automatic hydrometeorological station in 2004–2010), *Izv. RGO*, 2012, Vol. 144, Issue 1, pp. 39–46.
11. Bern T.-I., Moen S., Wahl T., Anderssen T., Olsen R., Johannessen J. A., *Oil spill detection using satellite based SAR*, Completion report for Phase 0 and 1. Tech. rep. OCEANOR report no. OCNR92071, Trondheim, Norway, 1992.
12. Brekke C., Solberg A., Oil spill detection by satellite remote sensing in the world oceans, *Remote Sensing of Environment*, 2005, No. 95, pp. 1–13.
13. Bulycheva E., Kuzmenko I., Sivkov V., Annual sea surface oil pollution of the south-eastern part of the Baltic Sea by satellite data for 2006–2013, *Baltica*, 2014, Vol. 27, Special Issue, Vilnius, pp. 9–14.

14. Bulycheva E. V., Krek A. V., Kostianoy A. G., Semenov A. V., Joksimovich A., Oil Pollution of the Southeastern Baltic Sea by satellite remote sensing data and in-situ measurements, *Transport and Telecommunication*, 2015, Vol. 16, No. 4, pp. 296–304.
15. Bulycheva E. V., Krek A. V., Kostianoy A. G., Semenov A. V., Joksimovich A., Oil pollution in the Southeastern Baltic Sea by satellite remote sensing data in 2004–2015, *Transport and Telecommunication*, 2016, Vol. 17, No. 22, pp. 155–163.
16. Kostianoy A. G., Lebedev S. A., Litovchenko K. Ts., Stanichny S. V., Pichuzhkina O. E., Satellite remote sensing of oil spill pollution in the southeastern Baltic Sea, *Gayana*, 2004, Vol. 68, No. 2, Part 2, pp. 327–332.
17. Kostianoy A. G., Lebedev S. A., Soloviev D. M., Pichuzhkina O. E., *Satellite monitoring of the Southeastern Baltic Sea*, Annual Report 2004, Kaliningrad: Lukoil-Kaliningradmorneft, 2005, 36 p.
18. Kostianoy A. G., Litovchenko K. Ts., Lavrova O. Yu., Mityagina M. I., Bocharova T. Yu., Lebedev S. A., Stanichny S. V., Soloviev D. M., Sirota A. M., Pichuzhkina O. E., Operational satellite monitoring of oil spill pollution in the southeastern Baltic Sea: 18 months experience, *Environmental Research*, *Engineering and Management*, 2006, No. 4 (38), pp. 70–77.
19. Lavrova O. Yu., Mityagina M. I., Kostianoy A. G., Semenov A. V., Oil pollution in the Southeastern Baltic Sea in 2009–2011, *Transport and Telecommunication*, 2014, Vol. 15, No. 4, pp. 322–331.
20. Meier H. E. M., Modelling the pathway sand ages of inflowing salt- and freshwater in the Baltic Sea, *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 2007, Vol. 74(4), pp. 610–627.
21. *Oil pollution in the Baltic Sea*, Kostianoy A. G., Lavrova O. Yu. (Eds.), Vol. 27, Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 2014, 268 p.