

Физическая география и экология

УДК 556.16.048

ОЦЕНКА ФОНОВЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ РАСТВОРЕННЫХ НЕФТЯНЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ, ПОСТУПАЮЩИХ В БАЛТИЙСКОЕ МОРЕ ОТ НЕЛЕГАЛЬНЫХ СБРОСОВ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ С СУДОВ*

С.А. Лебедев ^{1, 2, 3, 4}

¹ Геофизический центр РАН, Москва,

² Институт вычислительной математики РАН, Москва,

³ Майкопский государственный технологический университет, Майкоп,

⁴ Почетный профессор Тверского государственного университета, Тверь

В работе представлены результаты модельных расчетов пространственного распределения фоновых концентраций растворенных нефтяных углеводородов (НУ), поступающих в Балтийское море от нелегальных сбросов нефтесодержащих отходов с судов разного типа и назначения (включая танкеры), с учетом адвекции, деструкции, испарения и осаждения НУ. В качестве исходной информации о температуре поверхности моря и поверхностных скоростей течений использовались данные дистанционного зондирования (спутниковые радиометрии и альтиметрия). Величина поступления НУ рассчитывалась на основе экспертных оценок и пространственного распределения нефтяных пятен, зарегистрированных на акватории Балтийского моря в результате авиационного и спутникового мониторинга. Предлагаемый подход позволяет не только моделировать пространственное распределение фоновых концентраций НУ, но и провести оценку влияния данного типа антропогенного загрязнения Балтийского моря на экологическую ситуацию моря в целом и его прибрежных вод.

Ключевые слова: Балтийское море, нефтяные углеводороды, фоновые концентрации, нелегальные сбросы нефтесодержащих отходов с судов, математическое моделирование, дистанционное зондирование, спутниковая альтиметрия, спутниковая радиометрия.

Вестник ТвГУ. Серия "География и Геоэкология". 2018. № 1. С.6-19
DOI: <https://doi.org/10.26456/2226-7719-2018-1-6-19>

* Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 14-11-00609 «Информационно-вычислительная система вариационной ассимиляции данных наблюдений для анализа морских катастроф: теоретические основы, алгоритмы, комплекс программ»

Загрязнение Балтийского моря нефтяными углеводородами (НУ) в первую очередь обусловлено высокой урбанизацией, развитием индустрии в прибрежной зоне и интенсивным судоходством. Одним из основных источников загрязнения Балтийского моря НУ является нелегальный сброс нефтесодержащих отходов с судов самого разного типа и назначения (включая танкеры) [13].

По результатам авиационного и космического мониторинга, количество таких сбросов в европейских морях составляет не менее 3000 эпизодов в год. При этом ежегодные суммарные объемы нелегального удаления нефти колеблются в пределах от 1750 до 5000 т в Балтийском море, от 15000 до 60000 т в Северном море и более 400000 т в Средиземном море [28].

Балтийское море является одним из самых загруженных водных путей – на его долю приходится более 15% мировых морских грузовых перевозок. В 2013 г. по проливам Дании прошло 57567 судов. Это на 11,5% больше, чем в 2005 г., 42,02 % этих судов составили сухогрузы, 18,28% – танкеры, 4,16% – пассажирские суда (<http://www.helcom.fi>).

В акватории Балтийского моря одновременно находится около 2 тыс. судов. В течение месяца по Балтике проходит от 3,5 до 5 тыс. грузовых судов, ежегодно перевозится около 800 тыс. т грузов и около 250 млн т нефти и нефтепродуктов [13]. Основной вклад в нарастание танкерных перевозок нефти в Балтийском море вносит Россия.

Известно, что практически все суда являются в той или иной мере источником нефтяного загрязнения моря. Это особенно справедливо по отношению к нефтяным танкерам не только из-за повышенного риска аварийных нефтяных разливов, но также и за счет штатных (регламентированных) операций с балластными, промывочными и льяльными водами, объемы сброса которых на глобальном уровне составляют миллиарды тонн в год [15]. В результате таких операций и разрешенных сбросов, а также многочисленных нелегальных сбросов нефтяных отходов с судов на акваториях с интенсивным судоходством и танкерными перевозками часто наблюдаются тонкие (толщиной несколько микрон) нефтяные пленки (слики).

Моделирование распространения нефтяных пятен и аварийных разливов

Процесс распространения нефтяных пятен в море является весьма сложным процессом, зависящим от большого числа факторов, определяющих как состояние окружающей среды, так и свойств самого вещества. Поэтому решение этой многофункциональной задачи требует комплексного подхода, включающего в себя как одного из важных направлений исследование структуры гидрофизических полей моря и их изменчивости под воздействием гидрометеорологических факторов [13, 14].

Среди известных моделей распространения нефтяных пятен и аварийных разливов на акватории Балтийского моря стоит отметить модель распространения нефтяных загрязнений в Финском заливе [18] и модель SeaTrackWeb Шведского института метеорологии и гидрологии (Swedish Meteorological and Hydrological Institute – SMHI) [32], являющуюся развитием разработанной в 1970 году в том же институте модели прогноза дрейфа нефтяных пятен на Балтийском море [36]. Аналогичные модели созданы и российскими специалистами для прогноза распространения нефтяных пятен для Черного моря [4], Каспия [5, 30, 31] и других морей России [29].

Моделирование фонового загрязнения нефтепродуктами

Оценка степени загрязнения НУ антропогенного происхождения Балтийского моря и учет трансграничных переносов загрязняющих веществ по акватории морей может быть эффективной только при правильной оценке как уже существующей реальной картины нефтяного загрязнения, так и при анализе фоновых концентраций и их пространственно-временного распределения по акватории моря.

В первом приближении НУ в воде рассматриваются как бинарная среда (вода + НУ). Если пренебречь влиянием концентрации НУ на циркуляцию, то задача эволюции НУ в бассейне разделяется на две независимые задачи. Первая задача – это чисто термогидродинамическая задача определения циркуляции в бассейне, вторая – задача распространения НУ, которая описывается двумерным уравнением эволюции концентрации $C(x, y, t)$ нефтяных углеводородов:

$$\frac{\partial \tilde{N}}{\partial t} + U \frac{\partial \tilde{N}}{\partial x} + V \frac{\partial \tilde{N}}{\partial y} = D \Delta C - \frac{q}{\rho_0} + \frac{p}{\rho_0}, \quad (1)$$
$$\frac{\partial \tilde{N}}{\partial n} = 0$$

где U, V – горизонтальные проекции скорости на оси Ox и Oy соответственно, получаемые из термогидродинамической модели или непосредственно из измерений (или расчетов по данным измерений, например, спутниковой альтиметрии); D – коэффициент турбулентной диффузии; $p(x, y)$ – скорость поступления НУ в среду; $q(x, y)$ – скорость удаления примеси из бассейна; ρ_0 – средняя плотность морской воды.

Согласно результатам многочисленных экспериментов температурный фактор T является определяющим в кинетике распада нефтяных углеводородов в морской воде. Повышение температуры на

10°C увеличивает скорость разложения нефтяных углеводородов в общем случае в 2–4 раза, что в 25 раз больше, чем эффект, обусловленный изменениями pH на одну единицу, и примерно в 10 раз больше эффекта, вызванного изменениями солености на 1‰ [1, 37].

Согласно работе [17] процесс деструкции протекает по закону мономолекулярной реакции первого порядка, т.е. кинетическая кривая распада нефтепродуктов описывается уравнением:

$$C(t) = C_0 \exp(-kt),$$

где C_0 начальная концентрация ЗВ, t – время превращения ЗВ, k – скорость химической реакции, которая зависит от τ – периода полураспада НУ $k = \ln(2/\tau)$. В первом приближении процессы осаждения и испарения НУ, согласно [26], могут быть описаны линейной функцией $C(t) = C_0 \beta t$.

Таким образом, скорость удаления НУ из бассейна q можно параметризовать как

$$q = \lambda C \rho_0 \exp(-\lambda t) + C \rho_0 \beta t, \quad (2)$$

где λ – параметр, определяющий темп биохимической и микробиологической деструкции (окисления) ЗВ, β – параметр, характеризующий испарение примеси в атмосферу и удаление ее за счет осаждения (биоседиментации).

На твердых границах задается условие непротекания.

Оценить поступление в Балтийское море растворенных НУ через датские проливы из Северного моря достаточно сложно, а при условии активного судоходства в самих датских проливах на сегодня невозможно. По этой причине на границе между датскими проливами и самим морем источники загрязнения НУ отсутствуют.

Расчетная область бралась без учета островов.

Численное решение задачи построено на применении явных разностных схем, при интегрировании на каждом временном шаге последовательно рассматриваются адвекция, диффузия и деструкция НУ.

Модель (1)–(2) применима к НУ, деструкция которых, в первом приближении, описывается экспоненциальным по времени законом, а испарение в атмосферу и осаждение – линейные функции по времени.

Данный подход хорошо зарекомендовал себя при расчетах ассимиляционной емкости Балтийского [2], Черного [8, 9] и Каспийского морей [9], Бургасского и Таганрогского заливов Черного моря и Керченского пролива [12, 16, 27] и был реализован в автоматизированной системе «Региональный экологический мониторинг морской среды» [3, 11]. Во всех них в качестве исходной информации использовались поля

поверхностных скоростей, рассчитанные по соответствующей термогидродинамической модели, а поля температуры поверхности моря (ТПМ) генерировались на основе климатических данных.

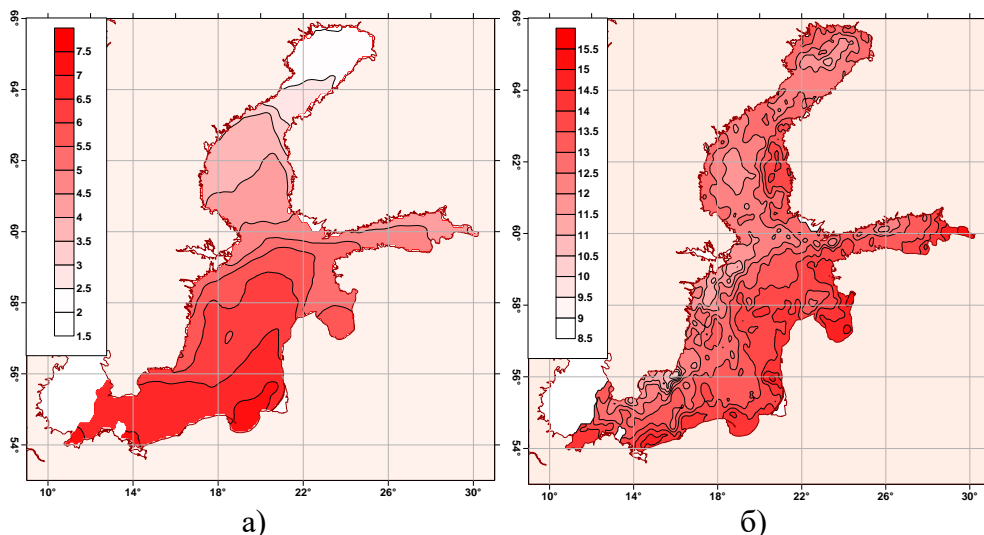
Используемые данные

В данной работе для расчетов фоновой концентрации НУ по модели (1)–(2) использовались спутниковая информация о ТПМ для учета процессов деструкции, испарения и осаждения НУ и данные спутниковой альтиметрии для расчета поверхностных течений для учета адвекции НУ. В модельном сценарии расчета использовались величины нелегальных сбросов нефтесодержащих отходов с судов, рассчитанных по плотности вероятности нефтяных пятен, зарегистрированных на акватории Балтийского моря в результате авиационного и спутникового мониторинга [6, 7] без учета источников загрязнения НУ, связанных с бытовыми и промышленными сточными водами (включая растворенные НУ, приносимые со стоком рек).

Температура морской поверхности. На сегодняшний день ТПМ определяется по данным радиометрии в ИК и СВЧ диапазонах с точностью измерения $0,3\text{--}0,5^\circ\text{K}$ и $0,6\text{--}0,7^\circ\text{K}$ соответственно [24–26, 35]. Пространственное разрешение составляет $1,1\text{--}4\text{ км}^2$ для ИК-диапазона и 25 км^2 для СВЧ диапазона. Ширина полосы обзора изменяется от 1400 до 4000 км в зависимости от датчика. Количество работающих спутников, оснащенных приборами измерения ТПМ, таково, что, например, для Балтийского моря можно получать данные дистанционного зондирования не реже одного–двух раз в сутки для безоблачных дней.

В данной работе использовались среднесуточные данные о ТМП, интерполированные в регулярную сетку с пространственным разрешением $0,03^\circ \times 0,03^\circ$ проекта Global Data Assimilation Experiment High Resolution Sea Surface Temperature Data (GHRSSST) [23], которые объединяют данные спутниковых измерений ТПМ в ИК и СВЧ диапазонах.

В качестве примера на рис. 1 приведены климатические и синоптические поля ТМП Балтийского моря, соответственно.

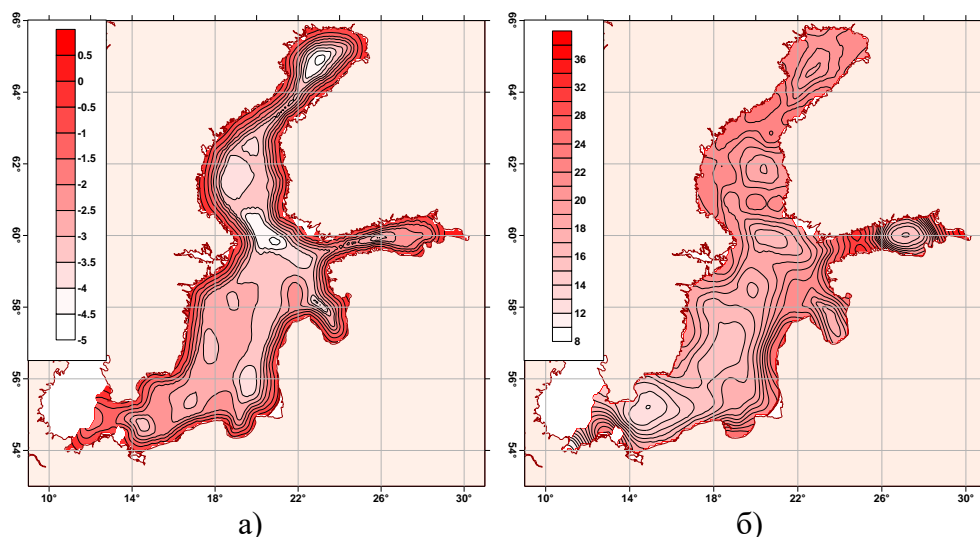


Р и с. 1: а) климатическое поле ТМП (°С) Балтийского моря, рассчитанное по данным GHRSSST за период с 1993 по 2015 гг.; б) синоптическое поле ТМП (°С) на 1 августа 2015 г.

Спутниковая альтиметрия. По времени возврата зондирующего радиопульса на борт космического аппарата рассчитывается расстояние от спутника в точке надира до подстилающей морской поверхности, а затем и сама высота моря. Точность расчетов высоты моря в настоящее время для современных альтиметров составляет 4,2 см [6, 10, 22].

Динамическая топография (ДТ), определяемая по данным спутниковой альтиметрии, позволяет анализировать поля поверхностных течений, не имеющих ярко выраженный термический характер, который присущ сильным струйным течениям. Пространственно-временной масштаб данных о высоте поверхности моря позволяет активно использовать их для расчета поверхностных течений и в различных термогидродинамических моделях с ассимиляцией (усвоением) данных [20], что дает возможность с высокой точностью делать физически обоснованный прогноз.

Сложность задачи построения климатической ДТ для Балтийского моря потребовала для данных исследований использовать скорректированную динамическую топографию DNSC08 [21] (рис. 2а), рассчитанную по данным спутниковой альтиметрии как разница между средней высотой морской поверхности DNSC08 и высотой геоида EGM96 [34].



Р и с. 2: а) климатическая ДТ (см) Балтийского моря, рассчитанная по модели DNSC08 [21]; б) синоптическая ДТ (см) на 1 августа 2015 г., рассчитанная как суперпозиция климатической ДТ и аномалий уровня моря, рассчитанных по данным спутниковой альтиметрии относительно средней высоты морской поверхности DNSC08.

На следующем этапе для временного интервала с января 1993 по декабрь 2015 г. по данным спутников альтиметрии рассчитывались аномалии высот моря с учетом всех необходимых поправок [10, 22] относительно средней высоты морской поверхности DNSC08. В итоге после суммирования аномалии уровня моря (или высот, так как Балтийское море считается неприливным) с климатической ДТ получалось поле синоптической ДТ (рис. 2б).

Источник загрязнения НУ. Объем нефтяного загрязнения Балтийского моря за счет нелегального сброса нефтесодержащих отходов с судов разного типа и назначения (включая танкеры) оценивается от 1750 до 5000 т в год [7]. По оценке Финского института окружающей среды (Finnish Environment Institute – SYKE), общее ежегодное количество нефтяных пятен в Балтийском море, возникших в результате эксплуатации судов, составляет около десяти тысяч (или около 10 тыс. т нефтепродуктов). По сравнению с этими цифрами официальные данные HELCOM (Helsinki Commission) о ежегодном количестве обнаруженных и подтвержденных нефтяных пятен кажутся явно заниженными [7]. Для этого исследования выбирались величины сбросов, которые, по мнению специалистов, наиболее близки к истине (табл. 1). Пространственное распределение общего сброса строилось на основе пространственного распределения нефтяных пятен, зарегистрированных на акватории Балтийского моря в результате авиационного и спутникового мониторинга

[6, 7] за период с 1989 по 2015 гг. (рис. 3). Сброс НУ проводился на каждом временном шаге при условии, что суммарное количество поступающего загрязняющего вещества в год соответствовало значениям, представленным в таблице.

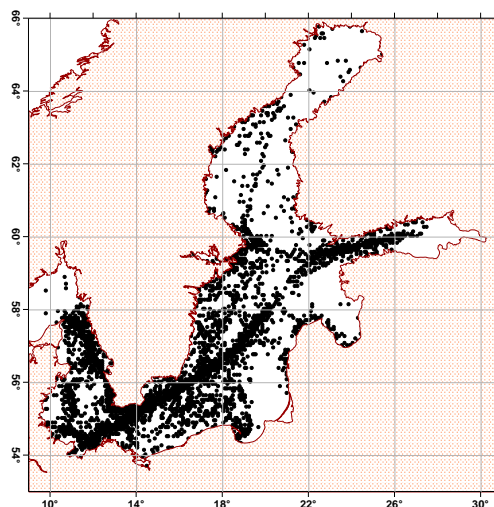
Расчеты по модели проводились для нескольких сценариев в зависимости от вариантов входных полей ТМП и ДТ: (А) – климатические поля ДТ и ТМП без сезонной изменчивости; (Б) – климатическое поле ДТ и синоптическое поле ТМП; (В) – климатическое поле ТМП и синоптическое поле ДТ. Таким образом, просчитывалось 3 варианта модельных сценариев.

Т а б л и ц а

Оценка аварийных и других потерь нефти в результате судоходства и танкерных перевозок в Балтийском море [13, 15]

Источники НУ	Потери нефти, т/год
Сброс с судов льяльных вод и нефтяных остатков	14 000
Штатные танкерные операции	12 250
Суммарно	26 250

Р и с. 3. Карта разливов нефти, обнаруженных в Балтийском море в 1989–2015 гг. по данным HELCOM [33].

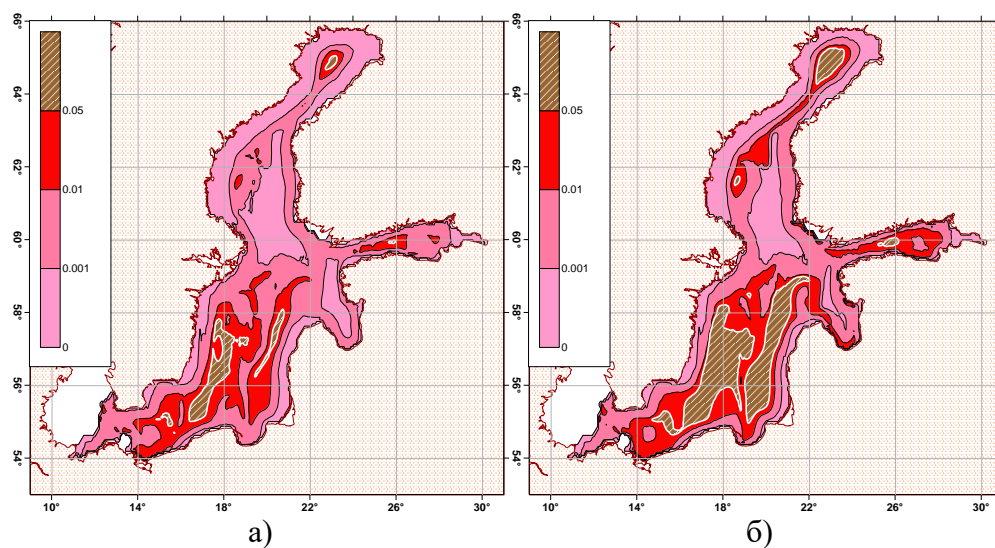


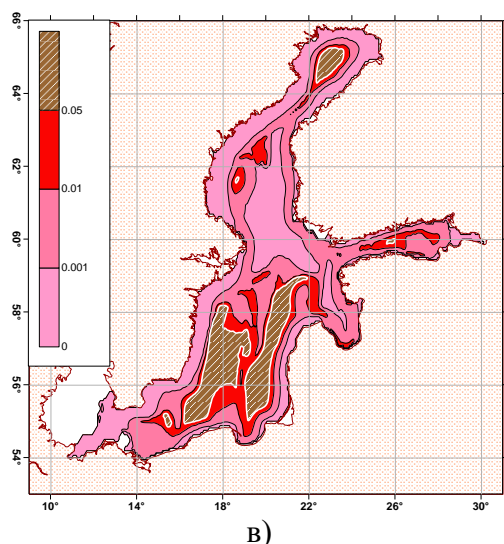
Результаты и их обсуждение.

Результаты расчетов по модельному сценарию (А) показывают (рис. 4), что фоновая концентрация НУ за счет нелегального сброса нефтесодержащих отходов с судов не превышает предельно допустимую концентрацию 0,05 мг/л. Ее средняя величина при условии учета

испарения, деструкции и осаждения составила $0,008 \pm 0,0004$ мг/л, а без учета осаждения – $0,04 \pm 0,0017$ мг/л. Пространственное распределение фоновой концентрации НУ для первого варианта расчетов показывает, что максимальные величины (более наблюдаются в области между о-вами Эланд и Готланд и побережьем Польши, восточнее о-ва Готланд, в Ботническом заливе севернее широты 64° и в Финском заливе между портами Хельсинки и Таллин (рис. 4а). При расчетах с учетом испарения и деструкции площади этих областей расширяются, захватывая исключительные экономические зоны не только Швеции, Финляндии, Польши, Эстонии и Латвии, но и Литвы и России (Калининградская область) (рис. 4б). Аналогичная картина наблюдается и для пространственного распределения фоновой концентрации НУ за счет нелегального сброса нефтесодержащих отходов с судов при расчете осаждения (рис. 4в).

Расчеты по модельным сценариям (Б) и (В) показали, что в первом случае фоновая концентрация НУ, связанная с нелегальным сбросом нефтесодержащих отходов с судов, увеличивается или, соответственно, уменьшается на 10–30% за счет сезонной изменчивости ТПМ. Синоптическая изменчивость поля ДТ (модельный сценарий (В)) существенно не влияет на фоновую концентрацию НУ, так как области с максимальными концентрациями локализуются вдоль основных судоходных трасс.





Р и с. 4. Результаты расчетов фоновых концентраций НУ за счет нелегального сброса нефтесодержащих отходов с судов для модельного сценария (А): а) с учетом испарения, деструкции и осаждения НУ; б) с учетом испарения и деструкции НУ; в) осаждение НУ. Области превышения ПДК (0,05 мг/л) выделены белым цветом и штриховкой).

Заключение

Предлагаемый подход к постановке и решению рассмотренной задачи позволяет не только моделировать пространственное распределение фоновых концентраций НУ, связанных с нелегальным сбросом нефтесодержащих отходов с судов, с использованием в качестве исходной информации данных дистанционного зондирования, но и оценить влияние этого типа антропогенного загрязнения Балтийского моря на экологическую ситуацию моря в целом и его прибрежных вод.

Список литературы

1. Бронфман А.М., Рясинцева Н.И., Савин П.Т., Подплетная Н.Ф. Пространственно-временные особенности деструкции углеводородов в море / Химия и биология моря. – М.: Гидрометеиздат, 1987. С. 79–81.
2. Герасимов В.А. Моделирование ассимиляционной емкости нефтяных углеводородов в Балтийском море. // Труды ГОИН. Вып. 191. 1988. С. 84–92.
3. Кеонджян В.П., Кабанов М.И., Лебедев С.А. и др. Структура и возможности автоматизированной системы «Региональный экологический мониторинг морской среды». // Геохимия, 1993, №5, С. 760–767.
4. Коротенко К.А., Боуман М.Д., Дитрих Д.Е. Моделирование циркуляции и переноса нефтяных пятен в Черном море. // Океанология. 2003. Т. 43. № 3. С. 367–378.
5. Коротенко К.А., Мамедов Р.М. Моделирование процессов распространения нефтяных пятен в прибрежной зоне Каспийского моря. // Океанология. 2001. Т. 41. № 6. С. 34–45.

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. – 480 с.
7. Лаврова О.Ю., Митягина М.И., Костяной А.Г. Спутниковые методы выявления и мониторинга зон экологического риска морских акваторий. – М.: ИКИ РАН, 2016. – 334 с.
8. Лебедев С.А. Модельные расчеты фоновых значений антропогенного загрязнения нефтепродуктами и ассимиляционной емкости Черного моря (с использованием данных дистанционного зондирования) // Инженерная экология. 2008. № 5. С. 41–51.
9. Лебедев С.А. Оценка фонового загрязнения нефтепродуктами Черного и Каспийского морей с использованием данных дистанционного зондирования и модельных расчетов //: Материалы научно-практического семинара «Экологические проблемы современности». – Майкоп: ИП Магарин О.Г., 2009. – С. 25–44.
10. Лебедев С.А., Костяной А.Г. Спутниковая альтиметрия Каспийского моря. – М.: Издательский центр «МОРЕ» Международного института океана. 2005. – 366 с.
11. Лебедев С.А., Леоненко О.И. Структура и возможности автоматизированной системы «Региональный экологический мониторинг морской среды». // Физические проблемы экологии (экологическая физика). 2002. № 9. С. 165–169.
12. Леоненко О.И., Зильберштейн О.И. Моделирование распространения нефтяных углеводородов в Бургасском заливе Черного моря. //Труды. ГОИН, Вып. 197, 1991, С. 149–155.
13. Немировская И. А. Нефть в океане. Загрязнение и природные потоки. – М.: Научный мир, 2013. – 456 с.
14. Овсиенко С.Н., Зацева С.Н., Ивченко А.А. Моделирование разливов нефти и оценка риска воздействия на окружающую среду. // Тр. ГОИН. 2005. Вып. 209. С. 248–271.
15. Патин С.А. Нефть и экология континентального шельфа: в 2-х т. 2-е изд. переработанное и дополненное. – Т. 1: Морской нефтегазовый комплекс: состояние, перспективы, факторы воздействия. – М.: Изд-во ВНИРО, 2017. – 326 с.
16. Практическая экология морских регионов. Черное море. /Под ред. В.П. Кеонджяна, А.М. Кудина и Ю.В. Терехина. – Киев: Наукова думка, 1990. – 252 с.
17. Процессы самоочищения морских вод. //Труды ГОИН. 1978. Вып. 128. – 145 с.
18. Становой В.В., Еремина Т.Р., Карлин Л.Н., Исаев Д.И., Неелов И.А., Ванкевич Р.Е. Оперативно-прогностическое моделирование распространения нефтяных загрязнений в Финском заливе. // Ученые записки РГГМУ. 2011. № 18. С. 151–169.

19. Становой В.В., Лавренов И.В., Неелов И.А. Система моделирования разливов нефти в ледовитых морях. // Проблемы Арктики и Антарктики. 2007. Вып. 77. С. 7–16.
20. Agoshkov V.I., Parmuzin E.I., Zalesny V.B., Shutyaev V.P., Zakharova N.B., Gusev A.V. Variational assimilation of observation data in the mathematical model of the Baltic Sea dynamics // Russian Journal of Numerical Analysis and Mathematical Modelling. 2015. Т. 30. №. 4. С. 203–212.
21. Andersen O. B., Knudsen P. The DNSC08 mean sea surface and mean dynamic topography // J. Geophys. Res. 2009. №. 114. C11001. doi: 10.1029/2008JC005179.
22. Chelton D.B., Ries J.C., Haines B.J. et al. Satellite Altimetry. //Satellite Altimetry and Earth Sciences. A Handbook of Techniques and Applications. /Eds. L.-L. Fu and A. Cazenave. – Academic Press, 2001, P. 1–131.
23. Donlon C., Robinson I., Casey K.S. et al. The Global Ocean Data Assimilation Experiment High-resolution Sea Surface Temperature Pilot Project. //Bulletin of the American Meteorological Society, 2007, Vol. 88, №8, P. 1197–1213. doi: 10.1175/BAMS-88-8-1197
24. Gemmill W.H., Krasnopolsky V.M. The Use of SSM/I Data in Operational Marine Analysis. //Weather and Forecasting, 1999, Vol. 14, №5, P. 789–800. doi: 10.1175/1520-0434(1999)014<0789:TUOSID>2.0.CO;2
25. Jourdan D., Gautier C. Comparison between Global Latent Heat Flux Computed from Multisensor (SSM/I and AVHRR) and from In Situ Data. //J. Atm. Ocean. Tech., 1995, Vol. 12, №1, P. 46–72. doi: 10.1175/1520-0426(1995)012<0046:CBGLHF>2.0.CO;2.
26. Keogh S.J.; Robinson I.S.; Donlon C.J.; Nightingale T.J. The accuracy of AVHRR SST determined using shipborne radiometers. //Int. J. Remote Sensing. 1999, Vol. 20, №14, P. 2871–2876. doi: 10.1080/014311699211840.
27. Keondjian V.P., Kudin A.M., Borisov A.S. Practical Ecology of Sea Regions – Concepts and Implementation. //Geo. Journal, 1992, Vol. 272, №2, P. 159–168. doi: 10.1007/BF00717700
28. Kluser S., Richard J.P., Giuliani G., De Bono A., Peduzzi P. Illegal Oil Discharge in European Seas // European Alert Bulletin 2006. № 7. P. 1–4.
29. Kochergin I.E., Bogdanovsky A.A., Budaeva V.D. et al. Modeling of oil spills for the shelf conditions of northeastern Sakhalin. In: Proceedings of the Second PICES Workshop on the Okhotsk Sea and Adjacent Areas Nemuro, Japan, November 9-12, 1998. //Eds. Lobanov V.B., Nagata Y. and Riser S.C. – PICES Scientific Report №12, 1999, P. 123–130.

30. Korotenko K.A., Mamedov R.M., Mooers C.N.K. Prediction of the Dispersal of Oil Transport in the Caspian Sea Resulting from a Continuous Release. //Spill Science and Technology Bulletin, 2000, Vol. 6, №5/6, P. 323–339. doi: 10.1016/S1353-2561(01)00050-0.
31. Korotenko K.A., Mamedov R.M., Mooers C.N.K. Prediction of the Transport and Dispersal of Oil Transport in the South Caspian Sea Resulting from Blowouts. //J. Environ. Fluid Mech., 2001, Vol. 1, №4, P. 383–414. doi: 10.1023/A:1015785909615.
32. Kostianoy A.G., Ambjörn C., Solovyov D.M. Seatrack Web: A numerical tool for environmental risk assessment in the Baltic Sea // Oil pollution in the Baltic Sea. / Eds. A.Kostianoy, O. Lavrova. The Handbook of Environmental Chemistry, Vol 27. – Springer Berlin Heidelberg, 2012. – P. 185–220. doi: 10.1007/698_2012_1.
33. 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. № 2. Part 2. P.327–332. doi: 10.4067/S0717-65382004000300002.
34. Lemoine F.G., Kenyon S.C., Factor J.K., Trimmer R.G., Pavlis N.K., Chinn D.S., Cox C.M., Klosko S.M., Luthcke S.B., Torrence M.H., Wang Y.M., Williamson R.G., Pavlis E.C., Rapp R.H., Olson T.R. The development of the joint NASA GSFC and the National Imagery and Mapping Agency (NIMA) Geopotential Model EGM96. // NASA Technical Memorandum. NASA/TP–1998–206861. – Greenbelt NASA Goddard Space Flight Cent., 1998. – 575 pp.
35. Pichel W., Maturi E, Clemente-Coln P., Sapper J. Deriving the operational nonlinear multichannel sea surface temperature algorithm coefficients for NOAA-15 AVHRR/3. //Int. J. Remote Sensing, 2001; Vol. 22, №4, P. 699–704. doi: 10.1080/01431160010013793
36. Seatrack Web 2.0 – an on-line oil drift forecasting system for emergency purposes. Swedish Meteorological and Hydrological Institute. //SE-601 76 Norrköping . Sweden, 2005. P. 1–4.
37. ZoBell C.E. Microbial degradation of oil: present status, problems and perspectives. //The microbial degradation of oil pollutants. /Eds. D.G. Ahearn and S.P. Meyers. – Center for Wetlands resources. Pub. № LSU-SG-73-01 Georgia State Univ. Atlanta. 1973. P. 1–16.

ESTIMATION OF BACKGROUND CONCENTRATIONS OF DISSOLVED OIL-HYDROCARBONS BURNING IN THE BALTIC SEA FROM ILLEGAL DISCHARGES OF OIL-CONTAINING WASTE FROM SHIPS

S.A. Lebedev ^{1, 2, 3, 4}

¹ Geophysical Center, Russian Academy of Sciences, Moscow

² Institute of Numerical Mathematics, Russian Academy of Sciences, Moscow

³ Maykop State Technological University, Maykop

⁴ Professor Emeritus of Tver State University

The results of model calculations of the spatial distribution of background concentrations of dissolved petroleum hydrocarbons (PH) entering the Baltic Sea from illegal discharges of oily waste from vessels of different types and purposes (including tankers) are presented, taking into account advection, destruction, evaporation and deposition of PH. Remote sensing data (satellite radiometry and altimetry) were used as initial information on sea surface temperature and surface current velocities. The value of the PH was calculated on the basis of expert assessments and the spatial distribution of oil spills recorded in the Baltic Sea as a result of aeronautical and satellite monitoring. The proposed approach allows not only to model the spatial distribution of background concentrations of PH, but also to assess the impact of this type of anthropogenic pollution of the Baltic Sea on the ecological situation of the sea as a whole and its coastal waters.

Keywords: *Baltic Sea, oil hydrocarbons, background concentrations, illegal discharges, mathematical simulation, remote sensing, satellite altimetry, satellite radiometry.*

Об авторе:

ЛЕБЕДЕВ Сергей Анатольевич – доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Геофизического центра РАН, старший научный сотрудник Института вычислительной математики РАН, ведущий научный сотрудник Лаборатории геоэкологии, геоинформатики и рационального природопользования Майкопского государственного университета, почетный профессор Тверского государственного университета, e-mail: lebedev@wdcb.ru