

МОНИТОРИНГ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ РИСКОВ

Научная статья

УДК 504.054

ПЕРСПЕКТИВА РАЗРАБОТКИ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ЭКОНОМИЧЕСКОГО УЩЕРБА ОТ РАЗЛИВОВ НЕФТИ В ВОДНОЙ СРЕДЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОГРАММНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

✉ **Востриков Артем Петрович.**

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,

Санкт-Петербург, Россия

✉ vostrikov.ap@edu.spbstu.ru

Аннотация. Цель данного исследования заключается в актуализации проблематики отсутствия эффективных методик по расчету экономического ущерба, возникающего в результате аварийных разливов нефти. Рассмотрен вопрос о создании новых инструментов для стимулирования природоохранной деятельности. Был проведен сравнительный анализ методик как российского, так и зарубежного происхождения, которые позволяют на основе оценки параметров и характеристик вредных веществ определить их количественные показатели, а также рассчитать экономический ущерб от аварий такого типа. Сделан акцент на факторах, которые влияют на величину финансовых потерь от разливов нефти. Рассмотрен статистический массив данных по инцидентам в данной области. Помимо этого, предложено создание новой методики с элементами программного моделирования. Рассмотрена программная среда «PISCES II», которая позволяет смоделировать последствия воздействия факторов, влияющих на масштаб разливов нефти, тем самым повышая эффективность деятельности не только аварийно-спасательных формирований, но и организаций, ответственных за последующую оценку экономического ущерба. Проведено ее сравнение со средой «OILMAP».

Ключевые слова: экономический ущерб, загрязнение водной среды, расчет ущерба, разлив нефти, морской транспорт, трубопровод, нефтяной танкер, сравнительный анализ

Для цитирования: Востриков А.П. Перспектива разработки методики расчета экономического ущерба от разливов нефти в водной среде с применением программного моделирования // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2023. № 2 (46). С. 7–17.

Scientific article

THE PERSPECTIVE OF CREATING A METHODOLOGY FOR CALCULATING ECONOMIC DAMAGE FROM OIL SPILLS IN THE WATER ENVIRONMENT USING SOFTWARE MODELING

✉ **Vostrikov Artem P.**

Peter the Great Saint-Petersburg polytechnic university, Saint-Petersburg, Russia

✉ vostrikov.ap@edu.spbstu.ru

Abstract. The objective of this study is to update the problems of the lack of effective methods for calculating economic damage resulting from accidental oil spills. The issue of creating new tools to stimulate environmental activities is considered. A comparative analysis of methods of both Russian and foreign origin was carried out, which allow, based on the assessment of the parameters and characteristics of harmful substances, to determine their quantitative indicators, as well as to calculate the economic damage from accidents of this type. The emphasis is placed on the factors that affect the amount of financial losses from oil spills. A statistical array of data on incidents in this area is considered. In addition, it is proposed to create a new methodology with elements of software modeling. The «PISCES II» software environment is considered, which allows to simulate the consequences

of the impact of factors affecting the scale of oil spills, thereby increasing the efficiency of not only emergency rescue units, but also organizations responsible for the subsequent assessment of economic damage. Its comparison with the «OILMAP» environment is carried out.

Keywords: economic damage, marine pollution, damage assessment, oil spill, maritime transport, pipeline, oil tanker, comparative analysis

For citation: Vostrikov A.P. The perspective of creating a methodology for calculating economic damage from oil spills in the water environment using software modeling // Prirodnye i tekhnogennye riski (fiziko-matematicheskie i prikladnye aspekty) = Natural and man-made risks (physico-mathematical and applied aspects). 2023. № 2 (46). P. 7–17.

Введение

Аварии, связанные с разливами нефти и нефтепродуктов, могут привести к большим потерям в экономическом развитии отдельно взятой страны либо же в глобальных масштабах. Не стоит забывать о том, что такие инциденты могут нанести огромный экологический ущерб какому-либо региону биосферы, что влияет на выживание редких видов животных. Нефть является основным двигателем роста современной экономики из-за ее широкого применения в производстве и транспорте, а также одним из важнейших источников энергии в мире. Доставка нефти, принося различные экономические выгоды некоторым странам, представляет серьезную угрозу безопасности жизнедеятельности людей в отдельных регионах, где наблюдается высокая плотность движения морского транспорта. Учитывая контекст современной политической ситуации в мире, данная проблема носит еще более весомый характер.

Методические основы по расчету экономического ущерба от разливов нефти являются неотъемлемой частью послеаварийных мероприятий. Их актуальность напрямую влияет на эффективность оценки эколого-экономического ущерба от аварийного инцидента такого типа. К сожалению, на сегодняшний момент нельзя однозначно выделить конструктивные подходы к оценке экономического ущерба от разливов нефти, поэтому достаточно важным остается вопрос разработки и усовершенствования методик как значимого инструмента для природоохранной деятельности.

В современном мире нередко возникают аварийные разливы в регионах, где проведение мероприятий по их ликвидации частично затруднено из-за многочисленных факторов, которые варьируются от биофизических до социальных. Они напрямую влияют на тяжесть последствий от такого рода инцидентов. При оценке ущерба от разливов нефти можно выделить следующие факторы:

- вид транспорта, при помощи которого осуществляется транспортировка;
- физические процессы, наблюдаемые при возникновении аварийного разлива нефти;
- сорт нефти;
- географическое положение, в рамках которого находится маршрут транспортировки;
- время года;
- время реагирования аварийно-спасательных групп.

Первый фактор – вид транспорта. Транспортировка нефтяной продукции происходит на различных видах транспорта. В этот перечень может входить водный, железнодорожный и автомобильный транспорт. Сравнивая данные виды, стоит сказать, что ущерб как с экономической, так и с экологической точки зрения различен [1].

Перевозка с помощью автомобильного транспорта остается наименее эффективной с точки зрения энергозатрат, безопасности отдельно взятого человека и воздействия на окружающую среду.

Трубопроводы наименее опасны по сравнению с другими видами транспорта, поскольку при их эксплуатации не наносится вред гидробионтам, а также практически минимален углеродный след. Из недостатков – пути сообщения трубопроводного транспорта нередко пересекаются с уникальными экосистемами. При прорывах нефтепроводов в таких местах природным объектам наносится непоправимый ущерб.

Танкеры используют для транспортировки преимущественно больших объемов нефти. По данным организации ClearSeas, около 60 % мировой нефтяной продукции транспортируется морскими танкерами. Они предоставляют нефтяным компаниям эффективный и относительно недорогой способ транспортировки по всему миру на большие расстояния. Однако этот вид транспортировки имеет значительные минусы. Поскольку объемы перевозок относительно велики, то социально-экономический ущерб, который возникает при разливе, также внушительный. Для Российской Федерации они особенно актуальны, поскольку протяженность береговой линии морской составляющей России составляет более 60 тыс. км [2], что является значительным показателем [3, 4].

Экономическая эффективность ЖД транспорта остается на высоком уровне до сих пор. Один вагон-цистерна может перевезти 111 000 л нефти, что сравнимо с вместимостью трех грузовиков. Кроме того, времени при данном виде транспортировки требуется меньше, чем при транспортировке трубопроводами. Минусом этого способа является выброс большого объема парниковых газов в атмосферу. Но если проводить сравнение с грузовым наземным транспортом, то поезда гораздо энергоэффективнее, поэтому результативность как с экономической, так и с экологической точки зрения выше [4].

Второй фактор – это физические процессы, наблюдаемые при возникновении аварийного разлива нефти. В морской среде либо же вдоль береговой зоны могут происходить физико-химические процессы, которые ведут к распространению испарившихся нефтяных масс в атмосферу за счет ветра. Также нефть может распространяться за счет диспергирования. Данный процесс можно охарактеризовать как перемешивание нефти с водой. Он вызван турбулентностью в океане, возникающей из-за водоворотов. При такой ситуации расчет экономического ущерба становится менее точным, поскольку процесс сбора нефти усложняется при ее смешивании с водой. В этом случае часть исходной концентрации нефти может оседать и оставаться на дне [5].

Третий фактор – сорт нефти, который имеет ключевое значение при определении экономического ущерба морской среде. Если говорить про территорию Российской Федерации, то транспортировка тут происходит нескольких сортов нефти, поэтому учет данного параметра обязателен. При разливе нефть претерпевает физические и химические изменения. Например, светлые нефтепродукты недолго остаются на водной поверхности, поскольку они быстро испаряются. В таких случаях, как правило, стоимость мероприятий по очистке невелика. Но если произошел разлив тяжелой нефти, то стоимость будет выше, так как она содержит множество нелетучих компонентов и обладает высокой вязкостью.

Четвертый фактор – это географическое положение. Тот или иной разлив может произойти вблизи объектов рекреационного и промышленного назначения, заповедников, биологически уязвимых районов или объектов всемирного наследия, поэтому конечный ущерб будет существенно различаться. Если же это оффшорная зона, то расходы на очистку могут быть увеличены, потому как в таких ситуациях требуется дополнительная техника в виде самолетов, специальных танкеров и квалифицированных групп реагирования.

Пятый фактор – время года. Например, мероприятия по очистке осложнены в зимний период из-за климатических условий. Работы, включающие дробление льда, значительно повышают опасность для специалистов, поэтому финансовые убытки могут на порядок вырастать при определенных условиях. С другой стороны, в таком случае проникновение нефтяных масс в толщу воды может оказаться меньшим, чем в летний сезон.

Заключительный фактор – возможности групп специального реагирования при разливах. Эффективность очистки напрямую зависит от их компетентности, применяемого оборудования, готовности действовать в условиях возникновения чрезвычайной ситуации и от зоны, в которой случился разлив. Если авария произошла вблизи рекреационного объекта, то давление со стороны общественности в таком случае будет значительно выше, что может повлиять на дальнейшую эффективность таких работ.

Рассмотрен статистический массив, который включает в себя базу данных в сфере аварийных разливов нефти. Она относительно невелика. Исходя из инцидентов, которые происходили в мировой истории, можно сказать, что небольшое количество разливов было

подробно задокументировано. Это является одной из причин неполноты расчетов экономического ущерба. Важно использовать всю базу данных и признать, что из некоторых аварий можно было изъять гораздо больше информации.

В статье рассмотрены крупнейшие разливы нефти и нефтепродуктов с танкеров. Статистика разливов показывает, что в данной области существуют проблемы с обеспечением безопасности во время движения танкеров (рис. 1). Как можно видеть из гистограммы, происходили разливы объемом более 100 тыс. т, что является значительным показателем [6].



Рис. 1. Крупнейшие разливы нефти и нефтепродуктов с танкеров

Рассмотрена информация, связанная с динамикой порывов промышленных нефтепроводов в Российской Федерации. В период с 2011 по 2018 г. отмечалось снижение аварий, но в 2019 г. произошел резкий скачок. Было отмечено 10 478 случаев, а всего на предприятиях ТЭК произошла 17 171 авария, поэтому нефтепроводы занимают большую часть от них (61 %) (рис. 2). Стоит отметить, что в 90 % случаев это происходит за-за коррозии металла труб [7].

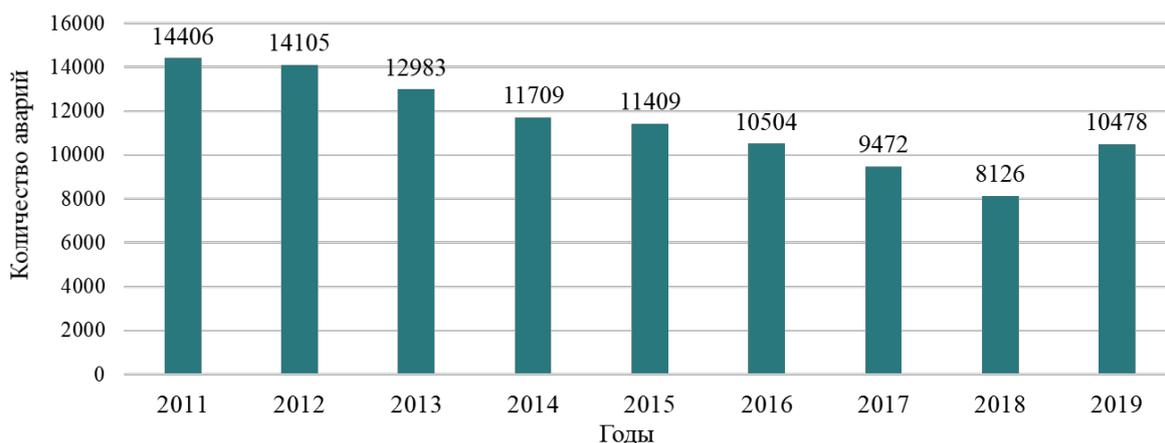


Рис. 2. Динамика порывов промышленных нефтепроводов в период с 2011 по 2019 г.

В российской нефтегазовой отрасли по количеству аварийных разливов на 2018 г. лидируют компании «Роснефть» и «Лукойл». На их нефтепроводах произошел 5 761 разлив в 2018 г. [8].

Рассмотрены крупнейшие разливы на территории Российской Федерации с водного транспорта в табличном виде (табл. 1), где проиллюстрированы: масса, ущерб, географическое положение и причины разлива [9, 10].

Крупнейшие разливы нефти с водного транспорта Российской Федерации

Год	Географическое положение	Масса разлитой нефти, т	Экономический ущерб	Причины разлива
2007	Керченский пролив	10 000	30 млрд руб.	Затонули четыре судна, шесть сели на мель, два танкера получили повреждения
2004	Иркутская область	4 500	40 млн руб.	Взрыв магистрального нефтепровода
2003	Пензенская область	10 000	50 млн руб.	Прорыв магистрального нефтепровода
1999	Башкортостан	1 000	–	Разрыв магистрального нефтепровода
1997	Саратовская область	1 500	–	Разрыв трубопровода
1997	Японское море	19 000	76 млн дол.	Нефтяной танкер «Находка» затонул в пути из КНР на Камчатку
1994	Республика Коми	94 000	311 млрд руб.	Авария на нефтепроводе

Приведенные цифры как по количеству разливов, так и по их объему свидетельствуют о том, что существует немаловажная проблема с обеспечением безопасности в данной области.

Методы исследования

В ходе написания данного исследования был использован метод анализа литературных источников, который помог проанализировать данные по основным факторам, влияющим на последствия от разливов нефти в водной среде. Их рассмотрение особенно необходимо, поскольку контекст данной работы состоит в оценке перспективы создания методики расчета экономического ущерба от разливов нефти в водной среде с применением программного моделирования, при помощи которого есть возможность анализа и визуализации основных факторов, влияющих на локализацию и нейтрализацию аварии.

Использован метод анализа статистических данных, включающих в себя сведения об аварийных разливах нефти с водного транспорта. Критерий анализа отобранной литературы следующий: рассматривалась транспортировка нефтепроводами и танкерами, так как они являются основой водного грузооборота.

Также использован метод сравнения, при помощи которого проведен сравнительный анализ методик по расчету экономического ущерба от аварийных разливов нефти. Проведен анализ как российских, так и зарубежных методик.

Вышеперечисленные методы также позволили выработать предложения по разработке новой методики с применением программного моделирования, с которой, возможно, было бы вероятно с наибольшей эффективностью оценивать экономический ущерб от аварийных разливов нефти.

Результаты исследования и их обсуждение

В ходе сравнительного анализа рассматривались методики, по алгоритмам которых возможен расчет экономического ущерба морским экосистемам и ущерба, связанного с затратами на ликвидацию и локализацию аварии:

1. Методика, включающая в себя определение размера ущерба, причиненного водным объектам, регламентированная приказом Минприроды от 13 апреля 2009 г. № 87 «Об утверждении методики исчисления размера вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства» [11].

2. Методика, включающая в себя модель оценки затрат на ликвидацию разливов нефти в Финском заливе от 15 ноября 2013 г. [12].

3. Методика определения ущерба окружающей природной среде при авариях на магистральных нефтепроводах, утвержденная Минэнерго Российской Федерации от 1 ноября 1995 г. [13].

Для наглядности разработана схема алгоритмов методик (рис. 3). Она показывает основные формулы и параметры, которые в них используются.

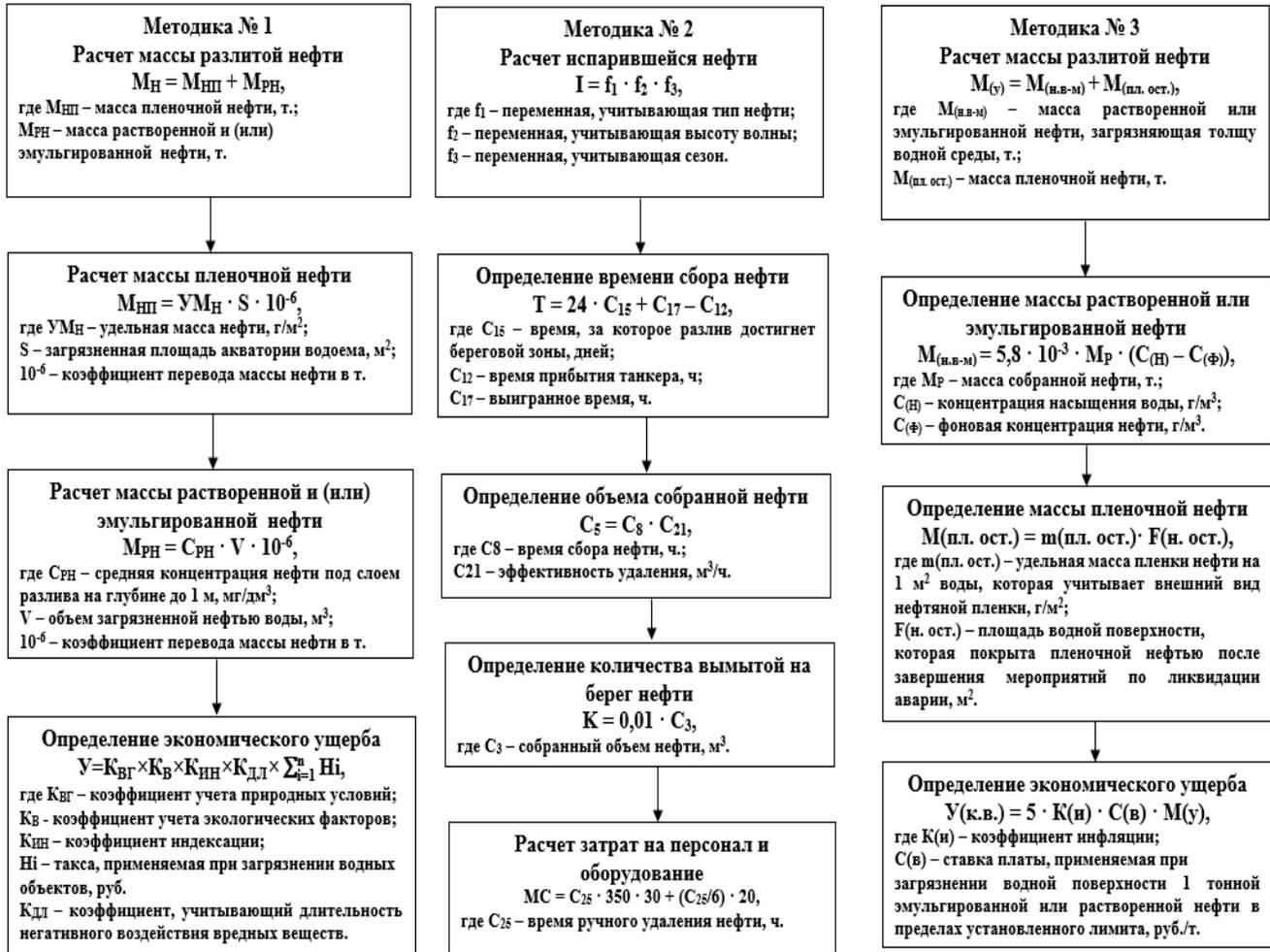


Рис. 3. Алгоритмы рассматриваемых методик

В рамках сравнительного анализа была составлена таблица, которая показывает отсутствие и важность того или иного параметра в рассматриваемых методиках (табл. 2).

Сравнительный анализ параметров

Параметр	Наличие параметра в методиках			Выводы
	№ 1	№ 2	№ 3	
1	2	3	4	5
Время достижения нефтяными массами береговой зоны	–	+	–	Данный показатель может улучшить прогнозирование при аварийных разливах нефти. При расчетах берется определенное количество дней, за которое нефть достигает береговой линии, а также присущая им вероятность
Время года	+	+	–	В методике № 1 вводится коэффициент, который учитывает природно-климатические условия в зависимости от времени года. Для каждого месяца он имеет свое значение. Также есть учет таких природных явлений, как паводок или половодье. В методике № 2 данная переменная зависит только от времени года. Следует отметить, что в зимний период времени расчеты по данной методике не проводятся. Поэтому способов расчета в первом случае выше, чем во втором
Масса разлива	+	+	+	Итог: первая методика имеет большую вариативность в оценке и расчете данного параметра
Коэффициент, учитывающий экологические факторы	+	–	+	В методике № 1 параметр имеет различные значения для некоторых бассейнов. Также есть пометка, что коэффициент увеличивается, если был причинен вред одному из объектов бассейна. В методике № 3 есть коэффициент экологической ситуации, значения которого зависят от бассейна моря, в котором произошел разлив. Есть примечание, что показатель может увеличиваться для природопользователей, которые находятся в особых зонах. В методике № 2 коэффициент не учитывается
Сорт нефти	–	+	–	Параметр важен, поскольку может возникнуть ситуация, когда произошел разлив более тяжелой нефти, вследствие чего стоимость очистительных мероприятий может увеличиваться, так как глубина проникновения нефти в морскую среду также увеличивается. В методиках № 1 и № 3 данный показатель не учитывается, что является большим минусом, поскольку на территории Российской Федерации перевозится как минимум несколько сортов нефти. Аварии неизбежно возникают, поэтому учет обязателен
Высота волны	–	+	–	В некоторых водных объектах учет данного параметра необязателен, поскольку сейсмическая активность в этих регионах может быть минимальна. Учет этого показателя рекомендуем, так как в таких местах могут возникать волны разных высот. Достижение берега в данной ситуации может ускориться, что приведет к увеличению стоимости мероприятий по очистке

1	2	3	4	5
Коэффициент, учитывающий тип мероприятий по очистке	–	–	–	Экономическая эффективность мероприятий по очистке водных ресурсов может быть значительно снижена при выборе непродуктивного метода, поэтому учет этого показателя рекомендуем
Учет воздушного наблюдения	–	+	–	При крупных разливах наблюдения с воздуха необходимы. В методике № 2 учитывается их стоимость, которая оценивается в 7 000 евро в час на 2013 г. Внедрение данного параметра приведет не только к повышению точности расчетов, но и к улучшению мероприятий по ликвидации разливов

Было выявлено, что способов расчета массы разлившейся нефти выше в методике № 1, а в методике № 2 наибольший спектр параметров.

В любом случае, тех инструментов и параметров, которые используются в рассматриваемых методиках, недостаточно. Один из вариантов улучшения данной отрасли – это разработка методики с применением программного моделирования и с учетом большего количества параметров. В качестве программной среды можно рассмотреть «PISCES II», которую возможно интегрировать в тело самой методики. Программное обеспечение «PISCES II», разработанное компанией «Transas», является широко используемым симулятором траектории разлива нефти, который помогает ликвидаторам в процессе принятия решений с помощью результатов моделирования, полученных для различных типов инцидентов. Это программное обеспечение было разработано в соответствии с требованиями береговой охраны США для программы учений по обеспечению готовности к реагированию (PREP). Система может включать в себя следующие аспекты:

- подготовку, управление и отображение данных ГИС;
- осведомленность о погоде и условиях окружающей среды;
- прогнозирование процессов с использованием имитационных моделей;
- стратегическое и тактическое планирование.

Также проведено сравнение функционала программ «PISCES II» и «OILMAP» (табл. 3) [14].

Таблица 3

Сравнение присутствия процессов в возможностях программных сред

Процессы	PISCES II	OILMAP
1	2	3
Адвекция	+	+
Диффузия	+	+
Направление ветра	+	+
Дрейф Стокса	–	–
Плавающие объекты	+	+
Распространение нефти	+	+
Испарение	+	+
Эмульгирование	+	+

1	2	3
Дисперсия	+	+
Вертикальное движение	–	+
Растворение	–	–
Седиментация	–	–

Вывод: возможности при использовании примерно одинаковые, но «OILMAP» является платной программной средой.

Заключение

В ходе данного исследования были выделены основные факторы, влияющие на развитие и последствия аварийных разливов. А именно: вид транспорта, физические процессы, сорт нефти, географическое положение, время года и время реагирования оперативных групп.

Проанализирована статистическая информация, которая проиллюстрировала, что крупнейшие разливы нефти с танкеров имели массу от 100 до 287 тыс. т. Отмечено, что на территории Российской Федерации в 2019 г. произошло 10 478 аварий с нефтепроводами, что составляет 61 % от общего числа аварий на предприятиях ТЭК. Сделан вывод, что на территории Российской Федерации в среднем происходил 31 порыв промысловых нефтепроводов в день в период с 2011 по 2019 г. Самый крупный экономический ущерб был нанесен из-за аварии нефтепровода в Республике Коми в 1994 г. – 311 млрд руб.

Исходя из проведенного сравнительного анализа, был сделан вывод, что набор параметров и характеристик, которые учитываются в методиках, не является достаточным для расчета конечных результатов. В сравнении участвовало восемь параметров. Отмечено их отсутствие в некоторых методиках, также в сводной таблице предложены показатели, которых нет частично или полностью в рассматриваемых случаях. Обоснована необходимость их применения при определенных условиях.

Предложено интегрирование программной среды «PISCES II» в разработку будущих методик по расчету экономического ущерба от разливов нефти. Проведен сравнительный анализ данной программы со средой «OILMAP» по функциональным особенностям. Отмечено, что они имеют примерно одинаковый функционал, но предлагаемая программа является бесплатной, а «OILMAP» – нет.

Список источников

1. Łeazuga K., Gucma L., Perkovic M. The model of optimal allocation of maritime oil spill combat ships. Switzerland: Sustainability, 2018.
2. О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2017 году: гос. доклад. URL: <https://water-ru.ru/water/gosdoc/503.html> (дата обращения: 25.11.2022).
3. Li F., Dong H., Liang M. Analysis, treatment and countermeasures on oil spills at sea // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018.
4. Transportation of Oil and Gas / L. Aiden [et al.]. University of Victoria, 2020.
5. Чухарева Н.В. Промышленная и экологическая безопасность на объектах трубопроводного транспорта нефти и газа. URL: <https://portal.tpu.ru/> (дата обращения: 15.11.2022).
6. Oil Tanker Spill Statistics 2019. URL: <https://www.itopf.org/knowledge-resources/data-statistics/statistics/> (дата обращения: 10.11.2022).
7. Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2019 году. URL: https://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye_doklady (дата обращения: 10.11.2022).

8. Нефтяные аварии случаются каждые полчаса: исследование реальных масштабов загрязнений природы. URL: <https://stories.media/investigations/2020/10/15/neftyanye-avarii-sluchayutsyakazhdie-polchasa-issledovanie-realnikh-masshtabov-zagryaznenii-prirodi> (дата обращения: 16.11.2022).

9. Хронология крупнейших случаев разлива нефти и нефтепродуктов в России. URL: <https://tass.ru/info/8641491> (дата обращения: 01.12.2021).

10. Great Escapes: Russia's Largest Spills. URL: <https://www.rferl.org/a/russia-s-largest-spills/30667014.html> (дата обращения: 05.12.2022).

11. Об утверждении методики исчисления размера вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства: приказ Минприроды России от 13 апр. 2009 г. № 87 (в ред. от 26 авг. 2015 г.). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

12. Montewka, J., Weckström, M., Kujala, P. A probabilistic model estimating oil spill clean-up costs – A case study for the Gulf of Finland. *Marine Pollution Bulletin*, 2013.

13. Методика определения ущерба окружающей природной среде при авариях на магистральных нефтепроводах: утв. Минтопэнерго Рос. Федерации 1 нояб. 1995 г. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

14. Cemal Toz A., Buber M. Performance evaluation of oil spill software systems in early fate and trajectory of oil spill: comparison analysis of OILMAP and PISCES II in Mersin Bay spill. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2018.

References

1. Łeazuga K., Gucma L., Perkovic M. The model of optimal allocation of maritime oil spill combat ships. Switzerland: Sustainability, 2018.

2. О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2017 году: гос. доклад. URL: <https://water-ru.ru/water/gosdoc/503.html> (дата обращения: 25.11.2022).

3. Li F., Dong H., Liang M. Analysis, treatment and countermeasures on oil spills at sea // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018.

4. Transportation of Oil and Gas / L. Aiden [et al.]. University of Victoria, 2020.

5. Chuhareva N.V. Promyshlennaya i ekologicheskaya bezopasnost' na ob'ektah truboprovodnogo transporta nefiti i gaza. URL: <https://portal.tpu.ru/> (дата обращения: 15.11.2022).

6. Oil Tanker Spill Statistics 2019. URL: <https://www.itopf.org/knowledge-resources/data-statistics/statistics/> (дата обращения: 10.11.2022).

7. Gosudarstvennyj доклад o sostoyanii i ob ohrane okruzhayushchej sredy Rossijskoj Federacii v 2019 godu. URL: https://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye_doklady (дата обращения: 10.11.2022).

8. Neftyanye avarii sluchayutsya kazhdye polchasa: issledovanie real'nyh masshtabov zagryaznenij prirody. URL: <https://stories.media/investigations/2020/10/15/neftyanye-avarii-sluchayutsyakazhdie-polchasa-issledovanie-realnikh-masshtabov-zagryaznenii-prirodi> (дата обращения: 16.11.2022).

9. Hronologiya krupnejshih sluchaev razliva nefiti i nefteproduktov v Rossii. URL: <https://tass.ru/info/8641491> (дата обращения: 01.12.2021).

10. Great Escapes: Russia's Largest Spills. URL: <https://www.rferl.org/a/russia-s-largest-spills/30667014.html> (дата обращения: 05.12.2022).

11. Об утверждении методики исчисления размера вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства: приказ Минприроды России от 13 апр. 2009 г. № 87 (в ред. от 26 авг. 2015 г.). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

12. Montewka, J., Weckström, M., Kujala, P. A probabilistic model estimating oil spill clean-up costs – A case study for the Gulf of Finland. *Marine Pollution Bulletin*, 2013.

13. Metodika opredeleniya ushcherba okruzhayushchej prirodnoj srede pri avariyah na magistral'nyh nefteprovodah: utv. Mintopenergo Ros. Federacii 1 noyab. 1995 g. Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tantPlyus».

14. Cemal Toz A., Buber M. Performance evaluation of oil spill software systems in early fate and trajectory of oil spill: comparison analysis of OILMAP and PISCES II in Mersin Bay spill. Environmental Monitoring and Assessment, 2018.

Информация о статье:

Поступила в редакцию: 12.03.2023

Принята к публикации: 17.04.2023

The information about article:

Article was received by the editorial office: 12.03.2023

Accepted for publication: 17.04.2023

Информация об авторах:

Востриков Артем Петрович, студент магистратуры Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29), e-mail: vostrikov.ap@edu.spbstu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5189-5279>

Information about the authors:

Vostrikov Artyom P., master's degree student of Peter the Great Saint-Petersburg polytechnic university (195251, Saint-Petersburg, Politechnicheskaya str., 29), vostrikov.ap@edu.spbstu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5189-5279>