

УДК 629.5

DOI: 10.37890/jwt.vi75.380

## **Процесс моделирования разложения нефтепродуктов в воде**

**Е.А. Шильникова**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8035-6207>

**О.В. Рослякова**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2265-7815>

*Сибирский государственный университет водного транспорта, г. Новосибирск, Россия*

**Аннотация:** Затонувшие судовые энергетические установки являются одним из наиболее опасных видов морского загрязнения. Причиной этого является то, что различные виды нефтепродуктов оседают на дне моря и могут оставаться там на протяжении длительного времени, что наносит непоправимый вред морской и окружающей среде. В последнее время проблема разложения нефтепродуктов в воде стала особенно актуальной. Нефть и ее токсичные компоненты могут быстро разрушить экосистему, что повлечет за собой драматические последствия для живых организмов. Для решения этой проблемы необходимо проводить моделирование процессов разложения как в лабораторных условиях, так и на реальных объектах. В данной статье рассмотрим основные подходы и этапы моделирования разложения нефтепродуктов от затонувших судов в воде.

**Ключевые слова:** водный транспорт, затонувшие суда, СЭУ, загрязнение окружающей среды, моделирование, разложение нефтепродуктов.

## **The process of modeling the decomposition of petroleum products in water**

**Ekaterina A. Shilnikova**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8035-6207>

**Oksana V. Roslyakova**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2265-7815>

*Siberian State University of Water Transport, Novosibirsk, Russia*

**Abstract:** Sunken marine power plants are one of the most dangerous types of marine pollution. The reason for this is that various types of petroleum products settle at the bottom of the sea and can remain there for a long time, which causes irreparable harm to the environment. Recently, the problem of decomposition of petroleum products in water has become particularly relevant. Oil and its toxic components can quickly destroy the ecosystem, which will entail dramatic consequences for living organisms. To solve this problem, it is necessary to conduct modeling of decomposition processes, both in laboratory conditions and on real objects. In this article, we will consider the main approaches and stages of modeling the decomposition of petroleum products from sunken ships in water.

**Keywords:** water transport, sunken ships, marine power plants, environmental pollution, modeling, decomposition of petroleum products.

### **Введение**

Затонувшие суда с нефтепродуктами представляют серьезную угрозу для окружающей среды. Даже после многих лет после катастрофы, нефть и ее токсичные компоненты могут оказывать отрицательное влияние на морскую живность, воду, пляжи и места пересечения водного транспорта.

Согласно статистическим данным о транспортных происшествиях Федеральной службы по надзору в сфере транспорта управления государственного морского и речного надзора на рис. 1 приведены показатели аварийности на внутренних водных путях по месяцам [1].

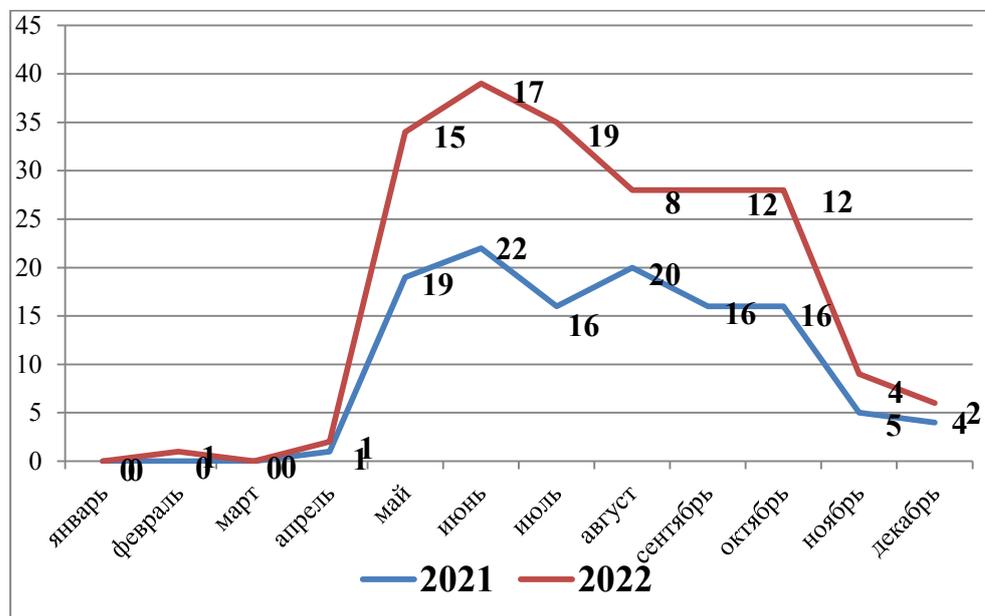


Рис. 1. Показатели аварийности на ВВП по месяцам

Количество инцидентов на ВВП РФ в 2022 году в сравнении с 2021 годом уменьшилось на 26% (на 31 инцидент). В табл. 1 приведены данные о количестве транспортных происшествий по видам за 2021 г. и 2022 г.

Таблица 1

**Транспортные происшествия по видам**

Вид транспортного происшествия	Года	
	2021 год	2022 год
Столкновение	13	12
Затопление	3	5
Удар, навал	55	35
Повреждение ГТС	19	7
Посадка на мель	28	23
Другие	1	9

Из табл. 1 видно, что затопление судов происходит на регулярной основе. Официальные данные о количестве аварий с затоплений имеются с 2015 года и до этого периода аварии с затоплением тоже имели место. Таким образом, проблема накопления затопленных судов есть, и главным последствием этого является загрязнение воды нефтепродуктами, используемыми в судовых энергетических установках.

Разлив нефти приводит к серьезным последствиям, таким как загрязнение водных объектов, смерть рыбы и другой морской фауны, загрязнению побережья, а также угрозе для здоровья людей. Поэтому прогнозирование разлива нефти является очень важной задачей в области охраны окружающей среды и предотвращения экологических катастроф. Данной проблеме посвящены многие научные работы [2-5].

Из-за затонувших судов с нефтью в воде появляются маслянистые пятна, которые могут распространяться в радиусе многих километров. Это оказывает разрушительное воздействие на морскую живность. Скопления нефти на поверхности воды создают токсичные условия, которые могут уничтожать кормовые базы рыбы и других животных моря.

Изучение процесса разложения нефтепродуктов является важным аспектом исследований. Это включает в себя анализ продуктов разложения нефти и определение их экологического влияния на водную экосистему. Кроме того, исследования позволяют разрабатывать новые технологии и методы по борьбе с загрязнением водной среды.

### **Материалы и методы**

Исследование влияния разложения нефтепродуктов от затонувших судовых энергетических установок является крайне важной задачей, так как оно поможет определить масштабы ущерба, который наносят нефтепродукты в окружающей среде.

Условно процесс моделирования можно разделить на 8 этапов, которые представлены на рис. 2.

Рассмотрим подробнее все процессы по шагам. Первым шагом моделирования разложения нефтепродуктов от затонувших судов является анализ их физико-химических свойств, таких как:

- 1) плотность – это масса нефтепродукта на единицу объема. Она изменяется в зависимости от типа нефтепродукта и может использоваться для определения его качества и чистоты [6];
- 2) вязкость – это сопротивление нефтепродукта к потоку. Высокая вязкость означает, что продукт трудно течет, а низкая вязкость обозначает более легкое течение. Она зависит от температуры;
- 3) температура кипения – это температура, при которой продукт начинает испаряться. Она зависит от состава продукта и давления, при котором измеряется;
- 4) температура вспышки – минимальная температура, при которой пары нефтепродукта начинают воспламеняться при соприкосновении с пламенем. Это важно для безопасности при транспортировке и хранении нефтепродуктов;
- 5) точка замерзания – это температура, при которой нефтепродукт начинает замерзать. Она важна для транспортировки в холодные климатические условия;
- 6) конденсация – это способность нефтепродукта превращаться в жидкость при сжатии. Она может использоваться для определения содержания легких фракций в нефтепродуктах;
- 7) цвет – это важный показатель качества нефтепродуктов. Он может указывать на содержание загрязнений в продукте;
- 8) растворимость в воде – нефтепродукты обычно не растворимы в воде, поскольку они содержат главным образом углеводороды. Однако некоторые добавки могут изменять растворимость и создавать эмульсии.

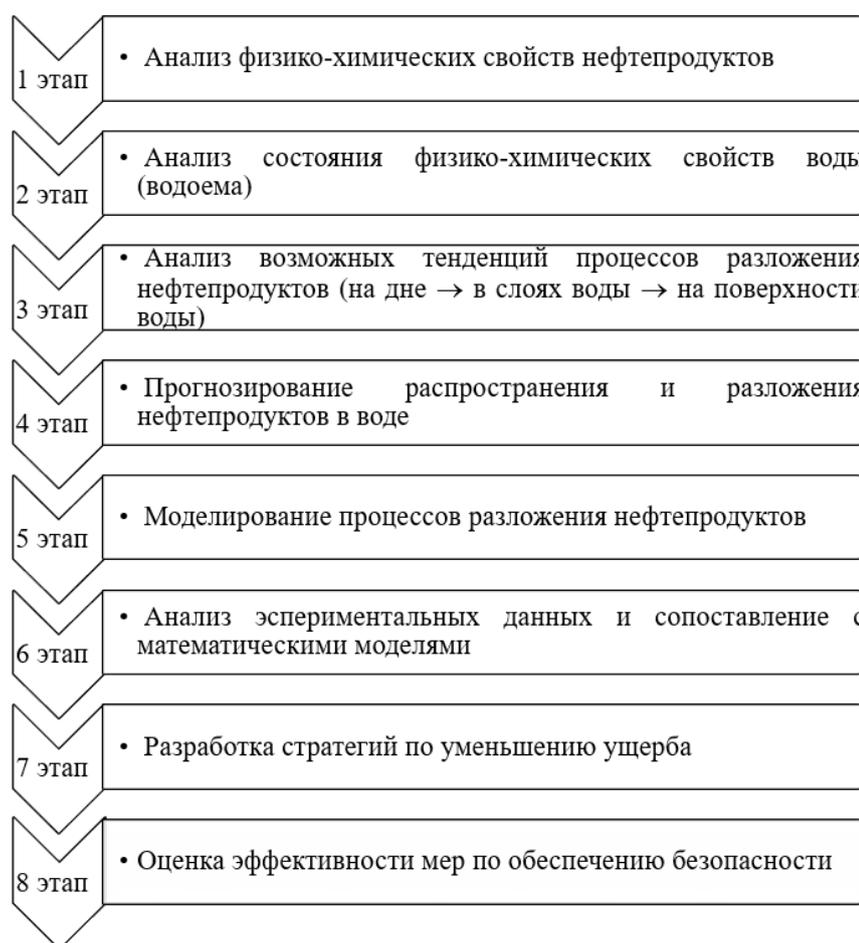


Рис. 2. Этапы процесса моделирования разложения нефтепродуктов от затонувших судов

Для анализа физико-химических свойств нефтепродуктов используются различные методы, такие как хроматография, термический анализ и спектроскопия [7].

Вторым этапом моделирования разложения нефтепродуктов от затонувших судов является описание начального состояния воды. Модель должна включать различные параметры воды, такие как температура, pH, скорость течения, соленость и содержание микроорганизмов, которые оказывают влияние на разложение нефтепродуктов.

Оценка тенденций – это третий этап в моделировании разложения нефтепродуктов от затонувших судов энергетических установок. Затонувшее судно будет постепенно разлагаться в водной среде, что может привести к негативным последствиям для окружающей среды и местной экосистемы. При этом надо учитывать, что такие вещества как бункеровочные масла, газ-конденсаты и нефтепродукты выходят на уровень водной поверхности и процесс разложения происходит на ней.

Четвертый этап – это прогнозирование распространения и разложения нефтепродуктов в воде. Модель должна учитывать различные факторы, такие как ветер, текущие моря и океаны, размеры затонувшего судна и количество нефтепродуктов, чтобы предсказать, как быстро нефтепродукты распространятся в водной среде.

Чтобы лучше понимать процесс разложения нефтепродуктов в воде и создать эффективные методы борьбы с этой проблемой, многие исследователи и авторы в своих работах используют различные модели [8-12]. В частности, в последнее время наиболее часто упоминаются модель Фэя, модель Гауссова шлейфа и модель Ролланда-Шоу.

В настоящее время одной из наиболее широко используемых моделей для прогнозирования и описания распространения нефтепродуктов в воде является модель Фэя, разработанная в 1979 году Джоном Фэем и Джеком Осборном. Это модель, которая разбивает систему на зоны концентрации, где каждый объект рассматривается как источник или потребитель, и предсказывает концентрацию нефтепродуктов в воде в каждой из этих зон на основе различных параметров.

Модель Фэя была широко применена для решения различных задач, связанных с нефтесбросами в морской среде, включая определение объема пролитой нефти, оценку скорости ее распространения и прогнозирование ее изменения в будущем. Одним из основных достоинств модели Фэя является то, что она учитывает объединенные эффекты ветра и течения, что позволяет точнее прогнозировать движение нефтепродуктов. Кроме того, модель Фэя позволяет рассчитывать как поверхностные концентрации нефтепродуктов, так и концентрации в более глубоких слоях морской воды.

Одним из ключевых параметров, которые влияют на концентрацию нефтепродуктов в воде в модели Фэя, является эмульсия, которая образуется в результате смешения нефти и воды в процессе распространения. Поэтому качество данных и точность оценки параметров для определения эмульсии имеет большое значение для точности прогнозов.

Одной из главных проблем при работе с моделью Фэя является тот факт, что модель не учитывает влияние физических процессов на движение нефтепродуктов в морской среде, таких как перенос тепла или изменение концентрации солей в воде. Эти факторы могут значительно повлиять на распространение нефтепродуктов, поэтому часто надо совмещать модель Фэя с другими моделями физических процессов.

Рассмотрим несколько подходов к моделированию процессов разложения. Один из них основан на использовании уравнения переноса массы и массового баланса. Этот подход позволяет описать различные процессы, такие как диффузия, конвекция и химическая реакция. Другой подход заключается в создании компьютерных моделей на основе метода конечных элементов. Этот метод позволяет проводить более точные вычисления, но требует большего количества вычислительных ресурсов.

Модель Гауссова шлейфа – это математическая модель, которая используется для моделирования процессов разложения нефтепродуктов в воде. Эта модель основана на теории гидродинамики и теплообмена, и она может быть использована, чтобы предсказать распределение нефтепродуктов в водной среде, что в свою очередь позволяет определить оптимальные методы очистки воды.

Использование модели Гауссова шлейфа позволяет получить детальную картину того, как нефтепродукты распределены в воде в зависимости от времени и местоположения. Это делает возможным точное определение площади оказания воздействия и оптимального способа борьбы с загрязнением воды.

Модель Гауссова шлейфа основывается на принципе концентрации. Она осуществляет расчеты концентрации загрязнений вокруг их источника и определяет, как они распространяются в воде. Эта модель учитывает такие факторы, как скорость ветра, течение, глубина воды и наличие поверхностных стоков.

При моделировании разложения нефтепродуктов в воде с помощью модели Гауссова шлейфа следует учитывать такие факторы, как химическая стабильность

нефтепродуктов и коэффициент растворимости. Эти параметры могут существенно влиять на скорость разложения нефтепродуктов в воде.

Модель Гауссова шлейфа использует набор дифференциальных уравнений в частных производных для описания переноса и трансформации нефтепродуктов в воде. Уравнения учитывают баланс массы и энергии в различных точках водной толщи и решаются численными методами.

Другая модель, широко используемая для моделирования разложения нефтепродуктов в воде, это модель Ролларда-Шоу. В этой модели учитываются не только химические реакции, но и физические процессы, такие как диффузия и конвекция. Эта модель позволяет определить, как быстро нефтепродукты будут удаляться из воды.

Эта модель была разработана на основе предположения, что капли масла в воде имеют сферическую форму и имеют однородное распределение по размерам

Модель Ролларда-Шоу включает следующие предположения и уравнения:

- капли масла имеют однородное распределение по размерам и сферическую форму;
- скорость диффузии пропорциональна градиенту концентрации масла в воде;
- скорость коалесценции пропорциональна квадрату размера капли масла;
- скорость осаждения пропорциональна квадрату размера капель масла и разности плотностей масла и воды.

Уравнение Ролларда-Шоу связывает концентрацию масла со временем и расстоянием, которое проходят капли масла в воде, имеет вид [13]:

$$C(t, x) = C_0 \cdot e^{-\frac{(x-vt)^2}{4Dt}}$$

где  $C(t, x)$  – концентрация масла в момент времени  $t$  и на расстоянии  $x$ ;

$C_0$  – начальная концентрация масла;

$v$  – скорость осаждения капель масла,

$D$  коэффициент диффузии масла в воде;

$t$  – время.

Пятым этапом моделирования разложения нефтепродуктов от затонувших судов является оценка влияния нефтепродуктов. Модель должна также предсказать влияние нефтепродуктов на окружающую среду и живые организмы, такие как рыбы, кораллы и другие морские животные. Для данного шага моделирования необходимо проведение экспериментов. Научно-исследовательские лаборатории, занимающиеся проблемами разложения нефтепродуктов в воде, проводят эксперименты, которые затем анализируются и используются при создании математических моделей [14]. Эксперименты могут проводиться как в лабораторных условиях, так и на реальных объектах.

Шестой этап – анализ полученных данных. Результаты экспериментов и математических моделей помогают понять процессы разложения нефтепродуктов в воде и представить их в виде графиков, таблиц и диаграмм. Эти данные могут быть полезными для принятия решения о необходимости принятия мер по улучшению состояния водных ресурсов.

Седьмой этап в моделировании представляет собой выбор стратегий уменьшения ущерба. На основе прогнозируемых данных должны разрабатываться стратегии для минимизации воздействия нефтепродуктов на окружающую среду и живые организмы. Такие стратегии включают использования барьеров, засыпание, буксировку судна на берег, контроль загрязнения, перекачку нефтепродуктов на другой танкер и т.д. [15].

Последним этапом моделирования разложения нефтепродуктов от затонувших судов является оценка эффективности введенных мер и внесение корректировок в систему, если это необходимо.

### Обсуждение

Моделирование разложения нефтепродуктов в воде продолжает использоваться как важный инструмент для оценки экологических последствий нефтяных разливов и планирования мер по защите окружающей среды. Необходимо отметить, что моделирование разложения нефтепродуктов в воде не является совершенным и может быть предметом дискуссий и споров среди экспертов. Например, модели могут не учитывать многих факторов, таких как наличие других веществ в воде, которые могут повлиять на разложение нефтепродуктов. Кроме того, развитие более точных и комплексных моделей в будущем может помочь улучшить понимание процессов разложения нефтепродуктов в воде и способствовать более эффективной борьбе с экологическими катастрофами.

### Заключение

Каждая из перечисленных в статье моделей имеет свои преимущества и недостатки, а также возможности для улучшения и доработки. В целом использование моделей при описании процесса разложения нефтепродуктов в воде позволяет более точно оценить масштабы проблемы, а также разработать наиболее эффективные методы борьбы с ним.

В заключение можно сказать, что моделирование разложения нефтепродуктов от затонувших судов является важным инструментом для понимания процессов, происходящих при загрязнении водных ресурсов нефтью от судовых энергетических установок и для разработки методов борьбы с этим явлением. Также важно продолжать научные исследования влияния разложения нефтепродуктов от затонувших судовых энергетических установок, так как они имеют огромное значение для сохранения морской и окружающей среды. Исследования позволяют не только определить масштабы проблемы, но и разработать эффективные методы ее решения.

### Список литературы

1. Обзор аварийности с судами на море и на внутренних водных путях Российской Федерации за 2022 год, Федеральная служба по надзору в сфере транспорта управление государственного морского и речного надзора // Москва. 2023. – 43 с. – Текст : непосредственный.
2. Каленков, А.Н., Прогнозирование разливов нефти с судов в Амурском бассейне / А.Н. Каленков, А.Е. Пластинин // Научные проблемы водного транспорта. – 2023. – № 74. – С. 216-228. DOI: 10.37890/jwt.vi74.341.
3. Наумов, В.С. Особенности прогнозирования в бассейновых планах по предупреждению и ликвидации разливов нефти / В.С. Наумов., А.Е. Пластинин, Н.И. Волкова, Н.С. Отделкин. – Текст : электронный // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. – 2018. – № 57. – С. 41-51. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-prognozirovaniya-v-basseynovyh-planah-po-preduprezhdeniyu-i-likvidatsii-razlivov-nefti/viewer> (дата обращения: 03.05.2023).
4. Наумов, В.С. Определение вероятных районов разливов нефти в Цимлянском водохранилище / В.С. Наумов, А.Е. Пластинин // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. – 2017. – № 53. – С. 75-81. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-veroyatnyh-rayonov-razlivov-nefti-v-tsimlyanskom-vodohranilische/viewer> (дата обращения: 03.05.2023).
5. Пластинин, А.Е. Оценка ущерба при разливах нефти на водных объектах / А.Е. Пластинин, В.С. Горбунов // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. – 2012. – № 33. – С. 53-59. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-uscherba-pri-razlivah-nefti-na-vodnyh-obektah> (дата обращения: 03.05.2023).
6. Мамонов, А.А. Измерение плотности нефтепродуктов и создание средств измерений коэффициентов объемного расширения нефтепродуктов / А.А. Мамонов, В.Я. Черепанов, Г.В. Шувалов, О.А. Ясырова. – Текст : электронный // Интерэкспо Гео-

- Сибирь. – 2011. – №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/izmerenie-plotnosti-nefteproduktov-i-sozdanie-sredstv-izmereniy-koeffitsientov-obemnogo-rasshireniya-nefteproduktov> (дата обращения: 03.05.2023).
7. Шувалов, Г.В. Приборы экспресс-анализа нефтепродуктов / Г.В. Шувалов. – Текст : электронный // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2007. – №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/pribory-ekspress-analiza-nefteproduktov> (дата обращения: 03.05.2023).
  8. Wilson, M. Predicting the movement of oil / M. Wilson, L. Graham, Ch. Hale, E. Maung-Douglass, St. Sempier, T. Skelton, LaDon Swann. – Текст : электронный // Oil spill science. – 2017. – 8 p. URL: <https://masgc.org/oilscience/oil-spill-science-predicting-movement.pdf> (дата обращения: 03.05.2023).
  9. Liu, Y. Monitoring and Modeling the Deepwater Horizon Oil Spill: A Record-Breaking Enterprise / Y. Liu, A. Macfadyen, Ji Z.-G., R. H. Weisberg. – Текст : электронный // American Geophysical Union. – 2011. – pp. 1-7. URL: [https://www.researchgate.net/publication/258791658\\_Monitoring\\_and\\_modeling\\_the\\_Deep\\_water\\_Horizon\\_oil\\_spill\\_a\\_record-breaking\\_enterprise\\_edited\\_by\\_Y\\_Liu\\_A\\_MacFadyen\\_Z-G\\_Ji\\_and\\_RH\\_Weisberg](https://www.researchgate.net/publication/258791658_Monitoring_and_modeling_the_Deep_water_Horizon_oil_spill_a_record-breaking_enterprise_edited_by_Y_Liu_A_MacFadyen_Z-G_Ji_and_RH_Weisberg) (дата обращения: 03.05.2023).
  10. Keramea, P. Oil Spill Modeling: A Critical Review on Current Trends, Perspectives, and Challenges / P. Keramea, K. Spanoudaki, G. Zodiatis, G. Gikas, G. Sylaios. – DOI:10.3390/jmse9020181. – Текст : электронный // Journal of Marine Science and Engineering. – 2021. – 9(2):181. URL: [https://www.researchgate.net/publication/349282028\\_Oil\\_Spill\\_Modeling\\_A\\_Critical\\_Review\\_on\\_Current\\_Trends\\_Perspectives\\_and\\_Challenges](https://www.researchgate.net/publication/349282028_Oil_Spill_Modeling_A_Critical_Review_on_Current_Trends_Perspectives_and_Challenges) (дата обращения: 03.05.2023).
  11. Zhao, L. Evolution of bubble size distribution from gas blowout in shallow water. / Zhao, L.; Boufadel, M.C.; Lee, K.; King, T.; Loney, N.; Geng, X. – Текст : электронный // Journal of Geophysical Research: Oceans – 2016. – 121, – p. 1573-1599, URL: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/2015JC011403> (дата обращения: 03.05.2023).
  12. Muddassir Nazir. Multimedia Fate of Oil Spills in a Marine Environment – An Integrated Modelling Approach. / Muddassir Nazir, Faisal Khan, Paul Amyotte, Rehan Sadiq. – DOI:10.1016/j.psep.2007.10.002. – Текст : электронный // Process Safety and Environmental Protection. – 2008. – 86 (2). URL: [https://www.researchgate.net/publication/44093455\\_Multimedia\\_Fate\\_of\\_Oil\\_Spills\\_in\\_a\\_Marine\\_Environment\\_-\\_An\\_Integrated\\_Modelling\\_Approach](https://www.researchgate.net/publication/44093455_Multimedia_Fate_of_Oil_Spills_in_a_Marine_Environment_-_An_Integrated_Modelling_Approach) (дата обращения: 03.05.2023).
  13. Abdolali, A. Numerical Modeling of the Spreading and Evaporation of Oil Spills on Water. / A. Abdolali, A. Muhammad, K. Mukarami. // Journal of Petroleum Science and Engineering. – 2012. – 81. pp. 86-96.
  14. Батманов, С.В. Обзор экспериментальных исследований по аварийным проливам нефтепродуктов / С.В. Батманов, М.Р. Самохин, С.П. Сухарский, В.А. Тищенко, Т.А. Тищенко. – Текст : электронный // Пожары и ЧС. – 2019. – №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-eksperimentalnyh-issledovaniy-po-avariynym-prolivam-nefteproduktov> (дата обращения: 04.05.2023).
  15. Пивоваров, А.Т. Экологические проблемы применения нефтепродуктов / А.Т. Пивоваров, Ю.Б. Салина. – Текст : электронный // Нефтегазовые технологии и экологическая безопасность. – 2007. – №6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekologicheskie-problemy-primeneniya-nefteproduktov> (дата обращения: 04.05.2023).

#### References

1. Review of accidents with ships at sea and on inland waterways of the Russian Federation for 2022, Federal Service for Supervision in the Field of Transport Department of State Marine and River Supervision // Moscow. 2023. – 43 p. – Text : direct.
2. Kalenkov, A.N., Forecasting of oil spills from ships in the Amur basin / A.N. Kalenkov, A.E. Plastinin // Scientific problems of water transport. – 2023. – No. 74. – pp. 216-228. DOI: 10.37890/jwt.vi74.341.

3. Naumov, V.S. Features of forecasting in basin plans for the prevention and elimination of oil spills / V.S. Naumov, A.E. Plastinin, N.I. Volkova, N.S. Otdelkin. – Text : electronic // Bulletin of the Volga State Academy of Water Transport. – 2018. – No. 57. – PP. 41-51. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-prognozirovaniya-v-basseynovyh-planah-po-preduprezhdeniyu-i-likvidatsii-razlivov-nefti/viewer> (accessed: 03.05.2023).
4. Naumov, V.S. Determination of probable areas of oil spills in the Tsimlyansk reservoir / V.S. Naumov, A.E. Plastinin // Bulletin of the Volga State Academy of Water Transport. – 2017. – No. 53. – PP. 75-81. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-veroyatnyh-rayonov-razlivov-nefti-v-tsimlyanskom-vodohranilische/viewer> (accessed: 03.05.2023).
5. Plastinin, A.E. Assessment of damage during oil spills on water bodies / A.E. Plastinin, V.S. Gorbunov // Bulletin of the Volga State Academy of Water Transport. - 2012. – No. 33. – PP. 53-59. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-uscherba-pri-razlivah-nefti-na-vodnyh-obektah> (date of application: 03.05.2023).
6. Mamonov, A.A. Measuring the density of petroleum products and the creation of measuring instruments for the coefficients of volumetric expansion of petroleum products / A.A. Mamonov, V.Ya. Cherepanov, G.V. Shuvalov, O.A. Yasyrova. – Text : electronic // Interexpo Geo-Siberia. – 2011. – No.2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/izmerenie-plotnosti-nefteproduktov-i-sozdanie-sredstv-izmereniy-koeffitsientov-obemnogo-rasshireniya-nefteproduktov> (accessed: 03.05.2023).
7. Shuvalov, G.V. Devices for express analysis of petroleum products / G.V. Shuvalov. – Text : electronic // Interexpo Geo-Siberia. - 2007. – No.2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/pribery-ekspres-analiza-nefteproduktov> (accessed 03.05.2023).
8. Wilson, M. Predicting the movement of oil / M. Wilson, L. Graham, Ch. Hale, E. Maung-Douglass, St. Sempier, T. Skelton, LaDon Swann. – Text : electronic // Oil spill science. – 2017. – 8 p. URL: <https://masgc.org/oilscience/oil-spill-science-predicting-movement.pdf> (date of application: 03.05.2023).
9. Liu, Y. Monitoring and Modeling the Deepwater Horizon Oil Spill: A Record-Breaking Enterprise / Y. Liu, A. Macfadyen, Ji Z.-G., R. H. Weisberg. – Text : electronic // American Geophysical Union. – 2011. – pp. 1-7. URL: [https://www.researchgate.net/publication/258791658\\_Monitoring\\_and\\_modeling\\_the\\_deep\\_water\\_horizon\\_oil\\_spill\\_a\\_record-breaking\\_enterprise\\_edited\\_by\\_Y\\_Liu\\_A\\_MacFadyen\\_Z-g\\_ji\\_and\\_rh\\_weisberg](https://www.researchgate.net/publication/258791658_Monitoring_and_modeling_the_deep_water_horizon_oil_spill_a_record-breaking_enterprise_edited_by_Y_Liu_A_MacFadyen_Z-g_ji_and_rh_weisberg) (accessed 03.05.2023).
10. Keramea, P. Oil Spill Modeling: A Critical Review on Current Trends, Perspectives, and Challenges / P. Keramea, K. Spanoudaki, G. Zodiatis, G. Gikas, G. Sylaios. – DOI:10.3390/jmse9020181. – Text: electronic // Journal of Marine Science and Engineering. – 2021. – 9(2):181. URL: [https://www.researchgate.net/publication/349282028\\_Oil\\_Spill\\_Modeling\\_A\\_Critical\\_Review\\_on\\_Current\\_Trends\\_Perspectives\\_and\\_Challenges](https://www.researchgate.net/publication/349282028_Oil_Spill_Modeling_A_Critical_Review_on_Current_Trends_Perspectives_and_Challenges) (accessed: 03.05.2023).
11. Zhao, L. Evolution of bubble size distribution from gas blowout in shallow water. / Zhao, L.; Boufadel, M.C.; Lee, K.; King, T.; Loney, N.; Geng, X. – Text: electronic // Journal of Geophysical Research: Oceans – 2016. – 121, – p. 1573-1599, URL: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/2015JC011403> (accessed: 03.05.2023).
12. Muddassir Nazir. Multimedia Fate of Oil Spills in a Marine Environment – An Integrated Modelling Approach. / Muddassir Nazir, Faisal Khan, Paul Amyotte, Rehan Sadiq. – DOI:10.1016/j.psep.2007.10.002. – Text: electronic // Process Safety and Environmental Protection. – 2008. – 86 (2). URL: [https://www.researchgate.net/publication/44093455\\_Multimedia\\_Fate\\_of\\_Oil\\_Spills\\_in\\_a\\_Marine\\_Environment\\_-\\_An\\_Integrated\\_Modelling\\_Approach](https://www.researchgate.net/publication/44093455_Multimedia_Fate_of_Oil_Spills_in_a_Marine_Environment_-_An_Integrated_Modelling_Approach) (accessed: 03.05.2023).
13. Abdolali, A. Numerical Modeling of the Spreading and Evaporation of Oil Spills on Water. / A. Abdolali, A. Muhammad, K. Mukarami. // Journal of Petroleum Science and Engineering. – 2012. – 81. pp. 86-96.
14. Batmanov, S.V. Review of experimental studies on emergency oil product spills / S.V. Batmanov, M.R. Samokhin, S.P. Sukharsky, V.A. Tishchenko, T.A. Tishchenko. – Text : electronic // Fires and emergencies. -2019. – No. 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-eksperimentalnyh-issledovaniy-po-avariynym-prolivam-nefteproduktov> (accessed: 05/04/2023).

15. Pivovarov, A.T. Environmental problems of the use of petroleum products / A.T. Pivovarov, Yu.B. Salina. – Text : electronic // Oil and gas technologies and environmental safety. - 2007. – No.6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekologicheskie-problemy-primeneniya-nefteproduktov> (accessed: 05/04/2023).

**ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**

**Шильникова Екатерина Андреевна**, аспирант, Сибирский государственный университет водного транспорта, 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, e-mail: [e.a.shilnikova@nsawt.ru](mailto:e.a.shilnikova@nsawt.ru)

**Рослякова Оксана Вячеславовна**, к.т.н, доцент, заведующий кафедры Техносферной безопасности, Сибирский государственный университет водного транспорта, 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, e-mail: [o.v.roslyakova@nsawt.ru](mailto:o.v.roslyakova@nsawt.ru)

**Ekaterina A. Shilnikova**, postgraduate student, Siberian State University of Water Transport, 630099, Novosibirsk, Shchetinkina str., 33, e-mail: [e.a.shilnikova@nsawt.ru](mailto:e.a.shilnikova@nsawt.ru)

**Oksana V. Roslyakova**, Ph.D. of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Technosphere Safety Department, Siberian State University of Water Transport, 630099, Novosibirsk, Shchetinkina str., 33, e-mail: [o.v.roslyakova@nsawt.ru](mailto:o.v.roslyakova@nsawt.ru)

Статья поступила в редакцию 07.05.2023; опубликована онлайн 20.06.2023.  
Received 07.05.2023; published online 20.06.2023.