

УДК 004.051

## ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПРОГНОЗА ПОДВОДНОГО ДВИЖЕНИЯ РАЗЛИВОВ НЕФТИ

Родина Н. С.<sup>1</sup>, Пластиинин А. Е.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Муниципальное предприятие Сергачского муниципального округа «Водоканал», Сергач, Россия

<sup>2</sup>Волжский государственный университет водного транспорта, Нижний Норвгород, Россия

Статья поступила 17.12.2024, принята к публикации 25.12.2024. Опубликована онлайн.

**Аннотация:** В работе представлены результаты применения цифровых технологий для прогноза нефтяного загрязнения и оценки экологических последствий при авариях на водных объектах. Актуальность работы обусловлена необходимостью создания математического описания для оценки параметров области возможного положения нефтепродуктов и рассмотрением среди процессов, происходящих с нефтяным загрязнением, попавшим в водный объект, отдельно выделенных процессов подводного движения. Целью работы является разработка математической модели всплытия нефтепродуктов на свободную поверхность на примере дизельного топлива для оценки негативного

воздействия с применением современных цифровых технологий. Для этого подобрана расчетная область с граничными условиями и сеткой нулевого уровня измельчения. Созданная модель является основой методики, которая представлена в виде взаимодействующих между собой блоков, составляющих общее описание алгоритма прогнозирования.

**Ключевые слова:** подводное движение, разлив нефти, всплытие, математическое моделирование, водный транспорт, охрана окружающей среды, оценка экологических последствий, цифровые технологии

**Информация о спонсорстве:** исследование выполнено за счет средств Волжского государственного университета водного транспорта.

**Благодарности:** авторы выражают благодарность Игорю Константиновичу Кузьмичеву за предоставление данных.

## THE USE OF DIGITAL TECHNOLOGIES TO PREDICT THE UNDERWATER MOVEMENT OF OIL SPILLS

Rodina N. S.<sup>1</sup>, Plastinin A. E.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Municipal enterprise of Sergachsky municipal district "Vodokanal", Russia, Sergach

<sup>2</sup>Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

**Abstract.** The paper presents the results of using digital technologies to predict oil pollution and assess the environmental consequences of accidents at water facilities. The relevance of the work is due to the need to create a mathematical description to assess the parameters of the area of the possible position of petroleum products and to consider among the processes occurring with oil pollution trapped in a body of water, separately identified processes of underwater movement. The aim of the work is to develop a mathematical model of the ascent of petroleum products to a free surface using the example of diesel fuel to assess the negative

impact using modern digital technologies. For this purpose, a calculated area with boundary conditions and a grid of the zero-grinding level has been selected. The created model is the basis of the methodology, which is presented in the form of interacting blocks that make up the general description of the forecasting algorithm.  
**Keywords:** underwater movement, oil spill, surfacing, mathematical modeling, water transport, environmental protection, environmental impact assessment, digital technologies

## Введение

Актуальность прогнозирования нефтяного загрязнения от подводных источников разлива определяется частотой аварий и выходом ряда публикаций [1-3]. В статье [4] рассматриваются меры защиты окружающей среды при разливах нефти, особое внимание уделено предотвращению возникновения разливов нефти; влияние внутренних факторов на вероятность разливов нефти, а именно влияние вида технических средств и устройств судна, обеспечивающих транспортировку нефтепродуктов.

В исследовании [5] составлена классификация разливов нефти по месту их возникновения, основанная на совершившихся происшествиях. В работе [6] подробно рассматриваются средства и способы мониторинга разливов нефти подо льдом. Автором [7] проанализирован вопрос защиты окружающей среды от аварийных разливов нефти на водных объектах. В статье изучено влияние на предотвращение, локализацию и ликвидацию разливов нефти технических средств борьбы с нефтяными загрязнениями, а также выделен фактор, по мнению автора, оказывающий наибольшее влияние на эффективность защиты водных объектов.

В работе [8] разработан метод получения сорбентов для ликвидации нефтяных загрязнений из водных объектов и берега, а

также изготовления маркеров нефти из борщевика Сосновского. Большинство вышеперечисленных работ по локализации и ликвидации нефтяных загрязнений посвящено именно очистке поверхности водного объекта от нефтепродуктов.

Однако согласно [9] из всех объемов транспортировки нефтепродуктов по внутренним водным путям РФ большую часть составляют темные нефтепродукты, которые в свою очередь в течение короткого периода времени опускаются на дно водоема, в результате чего вопрос ликвидации нефтепродуктов со дна водного объекта имеет первостепенный характер.

С помощью численного моделирования анализируются такие факторы влияния, как длина волн, направление утечки и ее скорость имеют значительное влияние на процесс распространения под водой, но ограниченное влияние на процесс дрейфа.

Представляет интерес статья [10], в которой с использованием психометрической парадигмы риска в сочетании с опросами населения Мичигана и региональной организации планирования, выполнена оценка предполагаемого риска разлива нефти подо льдом из подводных нефтепроводов, в частности из трубопровода Enbridge Line 5.

Полученные результаты указывают на необходимость лучшего изучения и информирования о рисках, связанных с подводными трубопроводами и разливами, как в открытой воде, так и подо льдом, а также о вариантах сбора нефти подо льдом.

Кроме того, рекомендуется внедрение процессов принятия решений и управления рисками с учетом анализа социальных, экономических и экологических аспектов эксплуатации подводных трубопроводов [11].

В работе [12] сделаны следующие выводы: время, необходимое для того, чтобы разлитая нефть впервые появилась на поверхности моря, и ее местонахождение являются двумя ключевыми вопросами для аварийного реагирования; разница давлений внутри и снаружи утечки определяет схему подводного движения нефти; время, необходимое для того, чтобы нефть достигла поверхности, увеличивается с уменьшением начального импульса и увеличением скорости потока.

Изучая работы по теме исследования можно сделать выводы, что в настоящее время локализация и ликвидация нефтяных загрязнений являются не всегда легко выполнимыми, так как, попадая в водный объект, нефть сразу же начинает распространяться по поверхности и в толще воды. В результате нужен комплекс мер для очистки водного объекта от нефтепродуктов, находящихся в разных видах, таких как слики, эмульсии, нефтяные агрегаты, сорбированных взвесями и донными отложениями и т.д.

Поэтому важную роль играет изучение процесса подводного движения нефтепродуктов в толще водного объекта для определения точных дальнейших действий по локализации и ликвидации нефтяного загрязнения [13].

Следует отметить, что практически каждая аварийная ситуация, связанная с затоплением самоходных плавательных средств, сопровождается крупным разливом судового топлива из расходных цистерн и трубопрово-

дов топливной системы, что приводит к значительному загрязнению окружающей среды нефтепродуктами [14].

Целью работы является разработка математической модели всплытия нефтепродуктов на свободную поверхность на примере дизельного топлива для оценки негативного воздействия с применением современных цифровых технологий.

## Основные задачи:

- показать необходимость создания математического описания для оценки параметров области возможного положения нефтепродуктов в толще воды;
- подобрать расчетную область с граничными условиями и сеткой нулевого уровня измельчения;
- моделирование подводных разливов нефтепродуктов и разработка уравнений связи [15];
- описание основ методики, в виде взаимодействующих между собой блоков.

## Материалы и методы

В настоящее время наиболее подходящим вариантом исследования поведения нефтепродуктов в водном объекте является компьютерное моделирование. В данной работе применялась программа моделирования течений жидкости и газа «FlowVision» [9].

Действительно, натурные эксперименты, помимо высокой стоимости реализации, приводят к загрязнению больших территорий, а модельные эксперименты, проводимые в опытных бассейнах, являются достаточно трудоемкими в части создания условий и проведении пересчета с модели на натуру с последующим уменьшением точности результатов [9].

Расчетная область для решения задачи представлена на рис. 1.

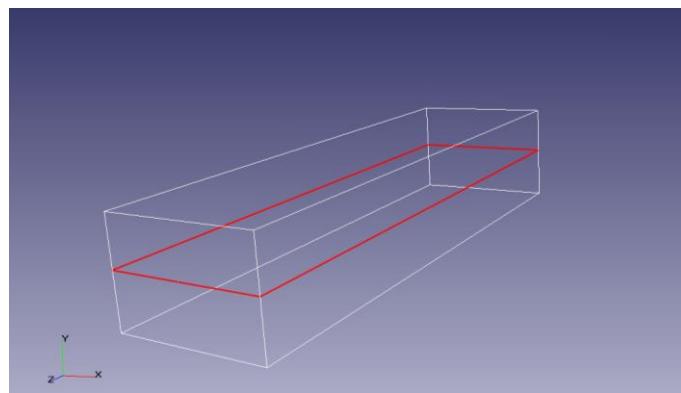


Рисунок 1. Расчетная область для решения задачи движения жидкости [9]

Границные условия и типы границ, необходимые для решения поставленной задачи приведены в таблице 1 и на рис. 2.

Вид расчетной области с сеткой нулевого уровня измельчения представлен на рис. 3.

Таблица 1

#### **Границные условия и типы границ**

Границы	Тип границы	Границное условие
$\Gamma_2, \Gamma_3, \Gamma_5,$	Симметрия	$\frac{df}{dn} = 0$ Концентрация: $\frac{df}{dn} _{\Gamma} = 0$ Скорость: $\frac{dV_t}{dn} = 0; V_n = 0$
$\Gamma_1, \Gamma_8$	«вход/выход»	Концентрация: $f=f_w=0$ Скорость: $V_n = V_w; V_t = 0$
$\Gamma_7$	«вход/выход»	Концентрация: $f=f_w=1$ Скорость: $V_n = V_w; V_t = 0$
$\Gamma_4$	«свободный выход»	$\frac{df}{dn} = 0$ Концентрация: $\frac{df}{dn} _{\Gamma} = 0$ Давление: $P=0$
$\Gamma_6$	«стенка»	Скорость: $V_n=0; V_t = 0$ Концентрация: $\frac{df}{dn} = 0$

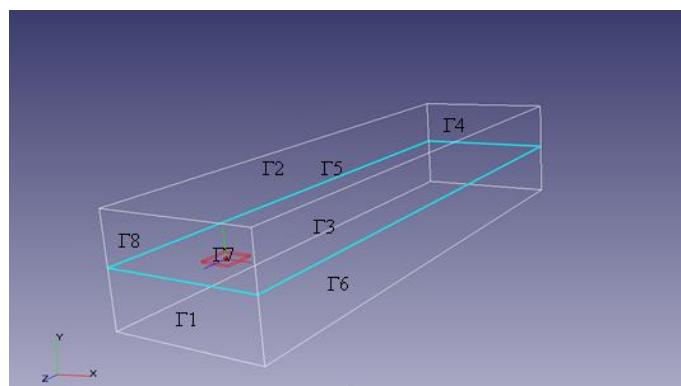


Рис. 2. Общий вид расчетной области с граничными условиями

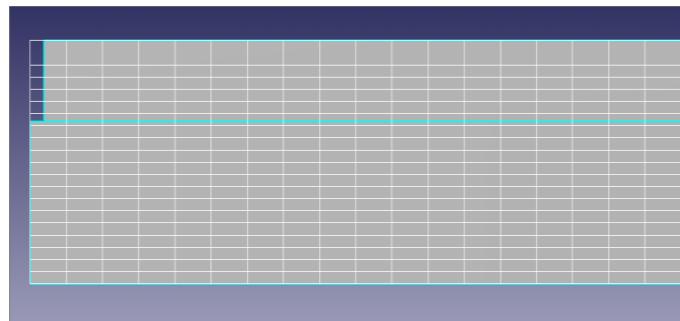


Рис. 3. Расчетная область с сеткой нулевого уровня измельчения

## Результаты и обсуждение

В данной работе выполнена разработка математической модели всплытия нефтепродуктов на свободную поверхность на примере дизельного топлива.

На основании исследований [11] можно увидеть подводное движение тяже-

лых нефтепродуктов на примере дизельного топлива при затоплении судна.

Оценки факторов представлены в таблице 2.

Матрица планирования эксперимента показана в таблице 3.

Таблица 2

### Влияние факторов на параметры области всплытия нефтепродукта при разливе дизельного топлива из подводного источника

Значения факторов	Длина, L, м	Ширина, В, м	Площадь, S, м <sup>2</sup>	Время всплытия, t <sub>b</sub> , мин
Масса нефтепродукта, т 1 10	21	18	378	53
	37	36	1332	42
Скорость течения, м/с 0,2 1	80	100	8000	123
	94	99	9306	76
Глубина водоёма, м 1 10	98	80	7840	88
	80	84	6720	79,7
Температура воды, К 273 298	56	72	4032	57,7
	76	80	6080	85,6

Таблица 3

### Матрица планирования эксперимента для дробного двухуровневого плана Бокса и Хантера

№	Независимые факторы			
	Скорость течения, м/с	Глубина, м	Температура воды, К	Масса, т
1	0,2	1,0	273,0	1,0
2	1,0	1,0	273,0	10,0
3	0,2	10,0	273,0	10,0

Таблица 3 (окончание)

**Матрица планирования эксперимента для дробного двухуровневого плана Бокса и Хантера**

№	Независимые факторы			
	Скорость течения, м/с	Глубина, м	Температура воды, К	Масса, т
4	1,0	10,0	273,0	1,0
5	0,2	1,0	298,0	10,0
6	1,0	1,0	298,0	1,0
7	0,2	10,0	298,0	1,0
8	1,0	10,0	298,0	10,0

Иллюстрации процесса всплытия приведены на рисунках 4-6.

Результаты численного эксперимента представлены в таблице 4.

Оценка параметров для времени всплытия показана в таблице 5.

В результате проведенного численного моделирования получены уравнения:

$$t_B = 19,06M - 182,82v + 8,19T - 43,59H - 1878,4 \quad (1)$$

$$X_{PT} = 4,66M + 11,25v + 0,76T - 7,33H - 148,06 \quad (2)$$

$$X_{LT} = 2,6M + 19,37v + 0,5T - 5,27H - 100,45 \quad (3)$$

$$L = 2,9M - 30,15v - 0,47T - 1,12H + 174,86 \quad (4)$$

$$B = 3,7M - 25,39v - 0,58T - 0,47H + 201,58 \quad (5)$$

где  $t_B$  – время всплытия нефтепродуктов, с;  $X_{PT}$ ,  $X_{LT}$ ,  $L$ ,  $B$  – параметры нефтяного пятна, соответственно координаты крайних правой и левой координат пятна, длина, ширина, м;  $M$  – масса нефтепродукта, т;  $v$  – скорость течения, м/с;  $T$  – температура воды, К;  $H$  – глубина, м.

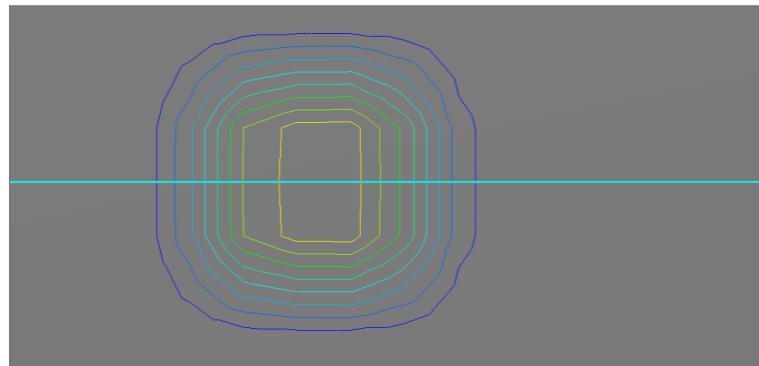


Рис. 4. Положение пятна нефти (вид сверху)

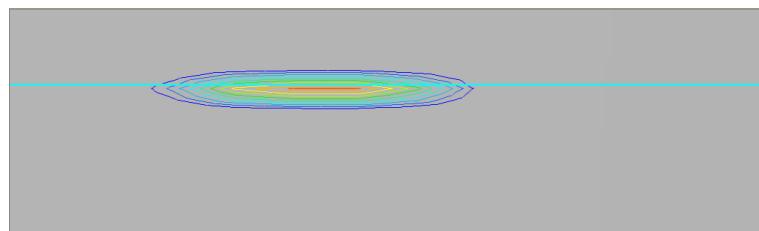


Рис. 5. Положение пятна нефти (вертикальный разрез)

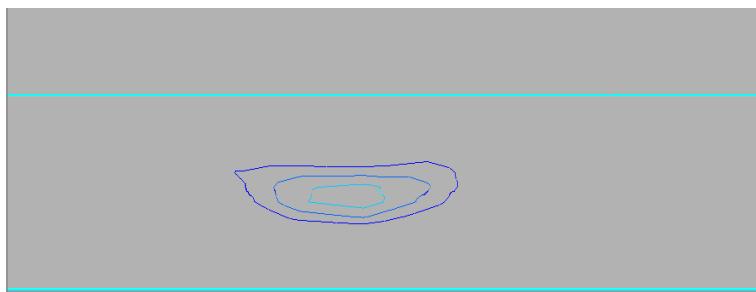


Рис. 6. Положение пятна нефти в объеме водотока

Таблица 4

#### Результаты численного эксперимента

Но- мер опыта	План 2(4-1) (Бокса-Хантера)							
	Температу- ра, К	Мас- са, т,	Ско- рость течения, м/с	Глуби- на, м	Координа- та крайней правой точки, м	Координа- та крайней левой точ- ки, м	Пло- щадь, м <sup>2</sup>	Время всплы- тия, мин
1	273	1	0,2	1	38	20	1444	271,79
2	273	10	1	1	122	82	1760	275,54
3	273	10	0,2	10	44	28	6256	137,23
4	273	1	1	10	2	2	1,125	68,3
5	298	10	0,2	1	120	70	2200	670,58
6	298	1	1	1	96	80	448	413,19
7	298	1	0,2	10	24	8	192	65,85
8	298	10	1	10	42	24	576	106,21

Таблица 5

#### Оценки параметров для времени всплытия

Показатель	Стандартная ошибка	t	p	-95,00% Дове- рительный ин- тервал	+95,00% Дове- рительный ин- тервал	Бета
Св.член	735,3056	- 2,55459	0,125116	-5042,17	1285,360	-
Температура воды	2,5779	3,17538	0,086502	-2,91	19,278	0,518768
Масса нефте- продукта	7,1608	2,66124	0,116943	-11,75	49,867	0,434772
Скорость те- чения	80,5593	- 2,31902	0,146233	-533,44	159,800	- 0,378863
Глубина	7,1608	- 6,08682	0,025945	-74,40	-12,776	- 0,994417

Проведенные исследования показали, что на время всплытия наибольшее влияние оказывает глубина водоема и температура воды.

Разработанная модель является основой методики, которая представляет собой алгоритм решения задач прогнозиро-

вания и оценки параметров области всплытия нефтепродуктов на примере дизельного топлива [11] в составе программно-аппаратного комплекса «PISCES 2-CMS», который в виде схемы взаимодействующих между собой модулей изображен на рис. 7.

Структуру разработанной методики можно представить в виде взаимодействующих между собой блоков (рис. 8), составляющих общее описание алгоритма решения задач модуля прогнозирования

при разливах из подводных источников с программно-аппаратным комплексом «PISCES 2-CMS».

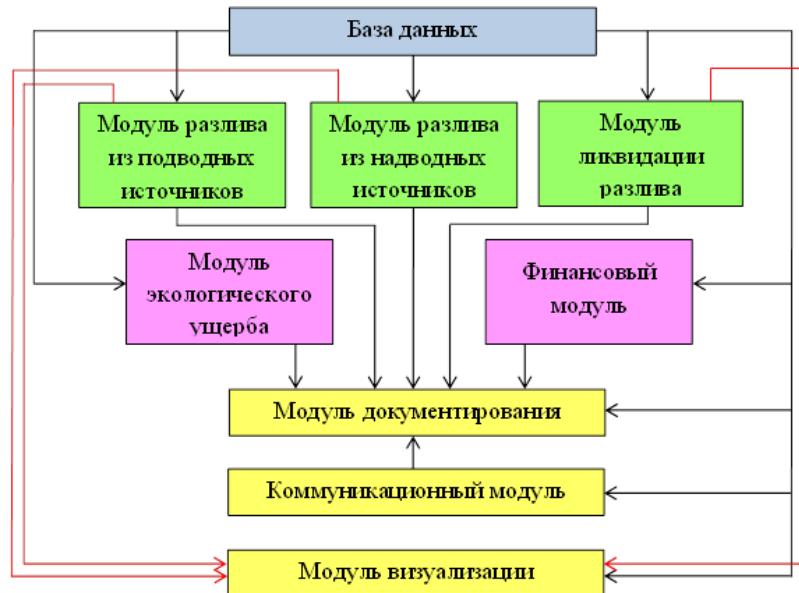


Рис. 7. Схема взаимодействия модулей программно-аппаратного комплекса «PISCES 2-CMS»

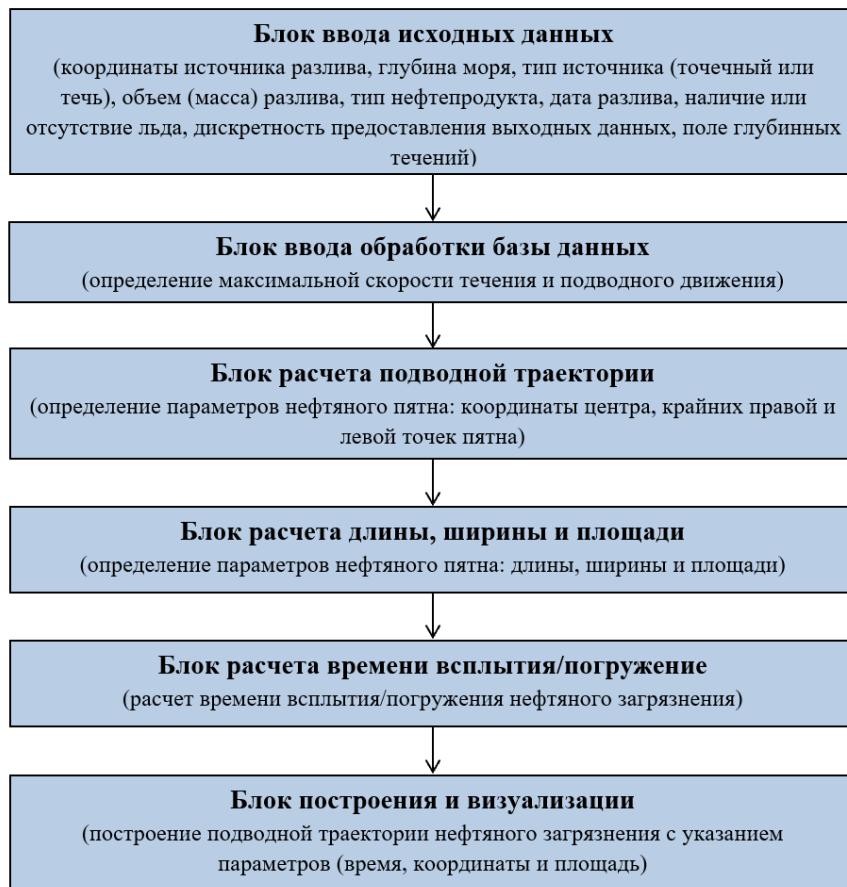


Рис. 8. Схема взаимодействия блоков методики прогноза подводного движения разливов нефти от затонувших судов

## Выводы

Среди процессов, происходящих с нефтяным загрязнением, попавшим в водный объект, отдельно выделены процессы подводного движения.

В данной работе выполнена разработка математической модели всплытия нефтепродуктов на свободную поверхность на примере дизельного топлива.

Созданная модель является основой методики, которая представлена в виде взаимодействующих между собой блоков, составляющих общее описание алгоритма решения задач модуля прогнозирования при разливах из подводных источников с программно-аппаратным комплексом «PISCES 2-CMS».

В работе выполнено исследование процессов, происходящих в нефтяном загрязнении при взаимодействии с компонентами природной среды под действием сил тяжести, вязкостных процессов и сил поверхностного натяжения, а также проведена оценка влияния различных факторов на загрязнение водной среды нефтепродуктами.

## Список литературы

1. Прогнозирование разливов нефти с судов в Амурском бассейне / А.Н. Каленков, А.Е. Пластиинин // Научные проблемы водного транспорта. – 2023. – №74. – С. 216-228. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi74.3414>.
2. Казанцев А.Ю. Применение искусственного интеллекта в предотвращении и минимизации сбросов нефтесодержащих вод с судов. Каспийский научный журнал. 2024;2(1): стр. 9-20.
3. Головацкая, А.И. Оценка площади нефтяного загрязнения при разливах газового конденсата в Каспийском море / А.И. Головацкая, А.Н. Бородин, А. Е. Пластиинин // Морские интеллектуальные технологии. – 2023. – № 2-1(60). – С. 315-319. – DOI 10.37220/МИТ.2023.60.2.039. – EDN MEQVPB.
4. Решняк, В. И. Проблема защиты от аварийного загрязнения при разливах нефти / В. И. Решняк, К. А. Казьмин // Международный научно-исследовательский журнал. – 2021. – № 5-2(107). – С. 47-51. – DOI 10.23670/IRJ.2021.107.5.043. – EDN SOSKIP.
5. Этин, В. Л. Классификация разливов нефти и нефтепродуктов по месту аварии на внутренних водных путях / В. Л. Этин, С. В. Васькин // Нефтегазовое дело. – 2012. – Т. 10, № 1. – С. 94-99. – EDN NNRJUJ.
6. Методы обнаружения и мониторинга подлёдных разливов нефти / Е. И. Величко, А. В. Поляков, В. В. Дубов [и др.] // Новые идеи в геологии нефти и газа. Новая реальность 2021: Сборник научных трудов (по материалам Международной научно-практической конференции), Москва, 27–28 мая 2021 года / Отв. редактор А.В. Ступакова. – Москва: Издательство "Перо", 2021. – С. 66-71. – EDN QIZSOK.
7. Решняк, В. И. Опыт организации и использования технических средств для ликвидации аварийных разливов нефти / В. И. Решняк // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2018. – Т. 10, № 2. – С. 287-299. – DOI 10.21821/2309-5180-2018-10-2-287-299. – EDN OSVVCX.
8. Технология изготовления сорбента для ликвидации разливов нефти и маркеров нефти из борщевика Сосновского / Ю. С. Дубинов, А. К. Прягаев, И. О. Помылка, Н. В. Анашкин // Инженер-нефтяник. – 2022. – № 2. – С. 55-59. – EDN EKWMJP.
9. Каленков, Александр Николаевич. Совершенствование оценки антропогенного воздействия на окружающую среду разливов нефти при эксплуатации речных судов: автореферат дис. ... кандидата технических наук: 03.02.08 / Каленков Александр Николаевич; [Место защиты: Волж. гос. акад. вод. трансп.]. - Нижний Новгород, 2011. - 20 с.

10. D. Bessette, M. Rutty, G. Gunn, V. Tarabara, R. Richardson. The perceived risk of the Line 5 Pipeline and spills under ice. *J. Great Lakes Res.*, 47 (1) (2021), pp. 226-235. DOI: 10.1016/j.jglr.2020.12.002
11. Predicting the Underwater Movement of Diesel Fuel in the Event of a Ship Sinking/ V. Naumov, A. Plastinin, A. Kalenkov, N. Rodina// International Scientific Siberian Transport Forum TransSiberia – 2021. Ser. «Lecture Notes in Networks and Systems». Switzerland, 2022. Vol. 402-1. P. 1086–1094. DOI: 10.1007/978-3-030-96380-4\_119.
12. Zhu, H., You, J. and Zhao, H. (2017) An Experimental Investigation of Underwater Spread of Oil Spill in a Shear Flow. *Marine Pollution Bulletin*, 116, 156-166. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2017.01.002
13. Проблемы экономической безопасности: новые глобальные вызовы и тенденции / Л. М. Анохин, Н. В. Анохина, О. Г. Аркадьева [и др.]; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации; Южно-Уральский государственный университет; Кафедра «Экономическая безопасность». – Челябинск: Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), 2021. – 715 с. – ISBN 978-5-696-05206-9. – Текст: непосредственный.
14. Милютина М.Ю., Макарова Е.В., Иванова Ю.В., Меньков Н.В., Пластинина С.С. Раннее сосудистое старение у лиц, работающих в условиях воздействия промышленного аэрозоля // Медицина труда и промышленная экология. 2019. Т. 59. № 10. С. 855-859.
15. Проблемы экономической безопасности: вызовы новой реальности / Е.В. Алексеева, В.В. Бехер, Т.А. Верезубова [и др.]; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации; Южно-Уральский государственный университет; Кафедра «Экономическая безопасность». – Челябинск: Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), 2023. – 732 с. – ISBN 978-5-696-05372-1. – Текст: непосредственный.

## References

1. Kalenkov A.N., Plastinin A.E. Prognozirovaniye razlivov nefti s sudov v Amurskom basseine. *Nauchnye problemy vodnogo transporta*. 2023. no74. pp. 216-228. DOI: 10.37890/jwt.vi74.3414
2. Kazantsev A.Yu. Application of artificial intelligence in preventing and minimizing discharges of oily water from ships. *Kaspiskij nauchnyj zhurnal*. 2024;2(1): pp 9-20. (In Russ.)
3. Golovatskaia, L.I. Otsenka ploshchadi neftianogo zagriznenija pri razlivakh gazovogo kondensata v Kaspiskom more / L.I. Golovatskaia, A.N. Borodin, A. E. Plastinin // *Morskie intellektual'nye tekhnologii*. 2023. no 2-1(60). pp. 315-319. DOI: 10.37220/MIT.2023.60.2.039. EDN MEQVPB (In Russ.)
4. Reshnjak, V. I., Kazmin K. A. Problema zashchity ot avarijnogo zagriznenija pri razlivah nefti. *Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal*. – 2021. – № 5-2(107). – pp. 47-51. – DOI 10.23670/IRJ.2021.107.5.043. – EDN SOSKIP (In Russ.)
5. Jetin, V. L., Vaskin S. V. Klassifikacija razlivov nefti i nefteproduktov po mestu avariï na vnutrennih vodnyh putjakh. *Neftegazovoe delo*. – 2012. – Т. 10, № 1. – pp. 94-99. – EDN NNRJUJ (In Russ.)
6. Metody obnaruzhenija i monitoringa podljodnyh razlivov nefti / E. I. Velichko, A. V. Poljakov, V. V. Dubov [i dr.] // *Novye idei v geologii nefti i gaza. Novaja real'nost'* 2021: Sbornik nauchnyh trudov (po materialam Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii), Moskva, 27–28 maja 2021 goda / Otv. redaktor A.V. Stupakova. – Moskva: Izdatel'stvo "Pero", 2021. – pp. 66-71. – EDN QIZSOK (In Russ.)
7. Reshnjak, V. I. Opyt organizacii i ispol'zovaniya tehnicheskikh sredstv dlja likvidacii avariijnih razlivov nefti. *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S.O. Makarova*. – 2018. – M. 10, № 2. – pp. 287-299. – DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-2-287-299. – EDN OSVVCX (In Russ.)

8. Dubinov Ju. S., Prygaev A. K., Pomylka I. O., Anashkin N. V. Tehnologija izgotovlenija sorbenta dlja likvidacii razlivov nefti i markerov nefti iz borshhevika Sosnovskogo. Inzhener-neftjanik. – 2022. – № 2. – pp. 55-59. – EDN EKWMJP (In Russ.)
9. Kalenkov, Aleksandr Nikolaevich. Sovershenstvovanie ocenki antropogenного vozdejstviya na okruzhajushchju sredu razlivov nefti pri jeksploatacii rechnyh sudov: avtoreferat dis. ... kandidata tehnicheskikh nauk: 03.02.08 / Kalenkov Aleksandr Nikolaevich; [Mesto zashchity: Volzh. gos. akad. vod. transp.]. - Nizhnij Novgorod, 2011. - 20 p. (In Russ.)
10. D. Bessette, M. Rutty, G. Gunn, V. Tarabara, R. Richardson. The perceived risk of the Line 5 Pipeline and spills under ice. J. Great Lakes Res., 47 (1) (2021), pp. 226-235. DOI: 10.1016/j.jglr.2020.12.002. (In Russ.)
11. Predicting the Underwater Movement of Diesel Fuel in the Event of a Ship Sinking/ V. Naumov, A. Plastinin, A. Kalenkov, N. Rodina// International Scientific Siberian Transport Forum TransSiberia – 2021. Ser. «Lecture Notes in Networks and Systems». Switzerland, 2022. Vol. 402-1. P. 1086–1094. DOI: 10.1007/978-3-030-96380-4\_119 (In Russ.)
12. Zhu, H., You, J. and Zhao, H. (2017) An Experimental Investigation of Underwater Spread of Oil Spill in a Shear Flow. Marine Pollution Bulletin, 116, pp.156-166. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2017.01.002
13. Problemy ekonomicheskoi bezopasnosti: novye global'nye vyzovy i tendentsii / L. M. Anokhin, N. V. Anokhina, O. G. Arkad'eva [i dr.]; Ministerstvo nauki i vysshego obrazovaniia Rossiiskoi Federatsii; IUzhno-Ural'skii gosudarstvennyi universitet; Kafedra «Ekonomicheskaya bezopasnost». Cheliabinsk: IUzhno-Ural'skii gosudarstvennyi universitet (natsional'nyi issledovatel'skii universitet), 2021. 715 p. (In Russ.)
14. Miliutina M.IU., Makarova E.V., Ivanova Iu.V., Men'kov N.V., Plastinina S.S. Rannee sosudistoe starenie u lits, rabotaiushchikh v usloviakh vozdeistviya promyshlennogo aerozolia // Meditsina truda i promyshlennaia ekologiya. 2019. T. 59. no 10. pp. 855-859. (In Russ.)
15. Problemy ekonomicheskoi bezopasnosti: vyzovy novoi real'nosti / E.V. Alekseeva, V.V. Bekher, T.A. Verezubova [i dr.]; Ministerstvo nauki i vysshego obrazovaniia Rossiiskoi Federatsii; IUzhno-Ural'skii gosudarstvennyi universitet; Kafedra «Ekonomicheskaya bezopasnost». Cheliabinsk: IUzhno-Ural'skii gosudarstvennyi universitet (natsional'nyi issledovatel'skii universitet), 2023. 732 p. (In Russ.).

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ/ ABOUT THE AUTHORS

**Родина Наталья Сергеевна**, специалист по охране труда, муниципальное предприятие Сергачского муниципального округа «Водоканал», 607510, Нижегородская область, Сергачский район, город Сергач, Ленинская ул, д. 42, rodina\_n\_s@mail.ru

**Пластинин Андрей Евгеньевич**, доктор технических наук, профессор кафедры охраны окружающей среды и производственной безопасности,

Волжский государственный университет водного транспорта, 603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, plastininae@yandex.ru

ORCID: 0000-0003-4244-8703

**Rodina Natalya Sergeevna**, Occupational safety Specialist, Vodokanal Municipal Enterprise of the Sergachsky Municipal District, 42, Leninskaya St., Sergach, Nizhny Novgorod Region, 607510

**Plastinin Andrey Evgenyevich**, Doctor of Technical Sciences, Professor at the Department of Environmental Protection and Industrial Safety, Volga State University of Water Transport. Russia, Nizhny Novgorod, 5, str. Nesterova, 603950

ORCID: 0000-0003-4244-8703