

УДК 004.051

ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОСЛЕДСТВИЙ РАЗЛИВОВ НЕФТИ В ЮЖНОМ ПОРТУ МОСКВЫ

Шапошников А. Д.¹, Пластинин А. Е.¹

¹Волжский государственный университет водного транспорта, Нижний Новгород, Россия

Статья поступила 18.05.2024, принята к публикации 29.09.2024. Опубликовано онлайн.

Аннотация. В работе представлены результаты применения цифровых технологий для оценки экологических последствий транспортных происшествий, связанных с разливами нефти и нефтепродуктов в Южном порту Москвы при авариях на водном транспорте. Актуальность работы обусловлена высоким уровнем риска возникновения и последствий разливов нефти и нефтепродуктов. Целью работы является оценка и прогнозирование характеристик негативного воздействия разливов нефти и нефтепродуктов с применением современных цифровых технологий для снижения антропоген-

ного влияния при эксплуатации судов и уровня риска транспортных происшествий. Для этого выполнены сбор и обработка исходных данных для прогнозирования разливов нефти в Южном порту Москвы, моделирование разливов нефтепродуктов и, собственно, оценка характеристик негативного воздействия.

Ключевые слова: разливы нефти, транспортные происшествия, математическое моделирование, водный транспорт, охрана окружающей среды, оценка экологических последствий, взрыв разлива, Южный порт Москвы

THE USE OF DIGITAL TECHNOLOGIES TO ASSESS THE ENVIRONMENTAL CONSEQUENCES OF OIL SPILLS IN THE SOUTHERN PORT OF MOSCOW

Shaposhnikov A. D.¹, Plastinin A. E.¹

¹Volga State University of Water Transport, Russia, Nizhny Novgorod

Abstract. The paper presents the results of the use of digital technologies to assess the environmental consequences of transport accidents related to oil and petroleum product spills in the Southern Port of Moscow during accidents on water transport. The relevance of the work is due to the high risk of occurrence and consequences of oil and petroleum product spills. The aim of the work is to assess and predict the characteristics of the negative impact of oil and petroleum product spills using modern digital technologies to reduce the anthropogenic im-

pact during the operation of ships and the level of risk of transport accidents. For this purpose, the collection and processing of initial data for forecasting oil spills in the Southern Port of Moscow, modeling of oil product spills and, in fact, assessment of the characteristics of the negative impact were carried out.

Keywords: oil spills, traffic accidents, mathematical modeling, water transport, environmental protection, environmental impact assessment, spill explosion, Southern Port of Moscow

Информация о спонсорстве: исследование выполнено за счет средств ФГБОУ ВО «Волжский государственный университет водного транспорта».

Благодарности: авторы выражают благодарность ректору ФГБОУ ВО «ВГУВТ» Игорю Константиновичу Кузьмичеву за предоставление данных.

Введение

С ростом спроса на нефтяные ресурсы в последние годы возросла и частота аварийных разливов нефти [1], которые представляют серьёзную угрозу для здоровья людей, рыболовства и экосистем [2-3]. Широко известные примеры включают разлив нефти из танкера «Эксон Валдез» в проливе Принс-Уильям на Аляске в 1989 году [4-5] и разлив нефти из танкера «Глубоководный горизонт» в Мексиканском заливе в 2010 году [6], которые оказали значительное воздействие на окружающую среду.

Помимо этих крупных разливов нефти, происходит множество случайных разливов сырой нефти в меньших масштабах, которые требуют быстрого определения токсичности и оценки взрывоопасности загрязнённой среды, деградации донных отложений для оценки рисков. Традиционные химические анализы и исследования токсичности и взрывоопасности таких сложных органических смесей могут быть трудоёмкими, отнимать много времени и быть дорогостоящими, что затрудняет быстрое определение на месте, необходимое при внезапных и случайных происшествиях. Значительное количество исследований посвящено биоиндикаторам, которые могут быть полезны в этом отношении в качестве дополнительного инструмента к традиционному химическому анализу и экотоксикологической оценке смешанных соединений в образцах окружающей среды [7].

Одним из случаев, потребовавших быстрой экологической оценки, является разлив нефти, вызванный взрывом нефтехранилища, произошедший недалеко от Даляня (Китай), в 2010 году, когда из поврежденных труб в близлежащую гавань и Желтое море попало около 1500 тонн сырой нефти. Выполненный литературный обзор подтвердил актуальность исследований в рассматриваемой сфере.

Целью работы является оценка и прогнозирование характеристик негативно-го воздействия разливов нефти и нефтепродуктов с применением современных цифровых технологий для снижения антропогенного влияния при эксплуатации судов и уровня риска транспортных происшествий.

Основные задачи:

- сбор и обработка исходных данных для прогнозирования разливов нефти в Южном порту Москвы;
- моделирование разливов нефтепродуктов;
- оценка характеристик негативного воздействия.

Материалы и методы

В качестве исходных данных для прогнозирования разливов нефти в Южном порту Москвы выступали сведения о массе разлива, типе нефтепродукта, полям течений, погодным условиям. Моделирование разливов нефтепродуктов выполнялось с использованием системы моделирования PISCES 2 [8-10].

Оценка характеристик негативного воздействия производилась в соответствии с приказом Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий № 404 от 10.07.2009 г. «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах» [11].

Результаты и обсуждение

В данной работе выполнено прогнозирование экологических последствий транспортных происшествий, связанных с разливами нефти и нефтепродуктов в Южном порту Москвы при различных гидрологических режимах в очаге аварийности транспортных судов на 0,5 км канала имени Москвы [12-14] (таблица 1-2, рис. 1-2).

Таблица 1

Сценарий для дислокации источника в Южном порту Москвы в очаге аварийности 0,5 км канала имени Москвы (дизельное топливо, объем разлива 642,0 м³ (552,0 т), межень, скорость течения 0,22 м/с, ветер северо-западный 5 м/с)

№	Свойства разлива	1 час	2 часа	3 часа	4 часа
1	Время достижения нефтяным пятном берега, час/мин	1 минута			
2	Дислокация пятна, км	149	148	147,5	147,5
3	Длина пятна, м	572	651	670	165
4	Ширина пятна, м	203	82,5	67,8	238
5	Загрязненный берег, м	870	2187	2709	2842
6	Площадь пятна, м ²	81965	35741	35139	17908
7	Количество нефти на плаву, м ³	616,6	584,6	563,3	547,3
8	Количество испарившейся нефти, м ³	0,6	1,5	2,3	3,0
9	Количество нефти на берегу, м ³	10,4	27,4	33,9	35,7
10	Количество диспергированной нефти, м ³	14,4	28,5	42,5	56,0
11	Максимальная толщина пятна, мм	20,7	66,7	57,5	190,1
12	Вязкость, сСт	4,0	4,9	5,3	5,4
13	Расстояние между источником разлива и пятном, м; пеленг, град	1200 м; 129°	2000 м; 145°	2500 м; 151°	2400 м; 166°

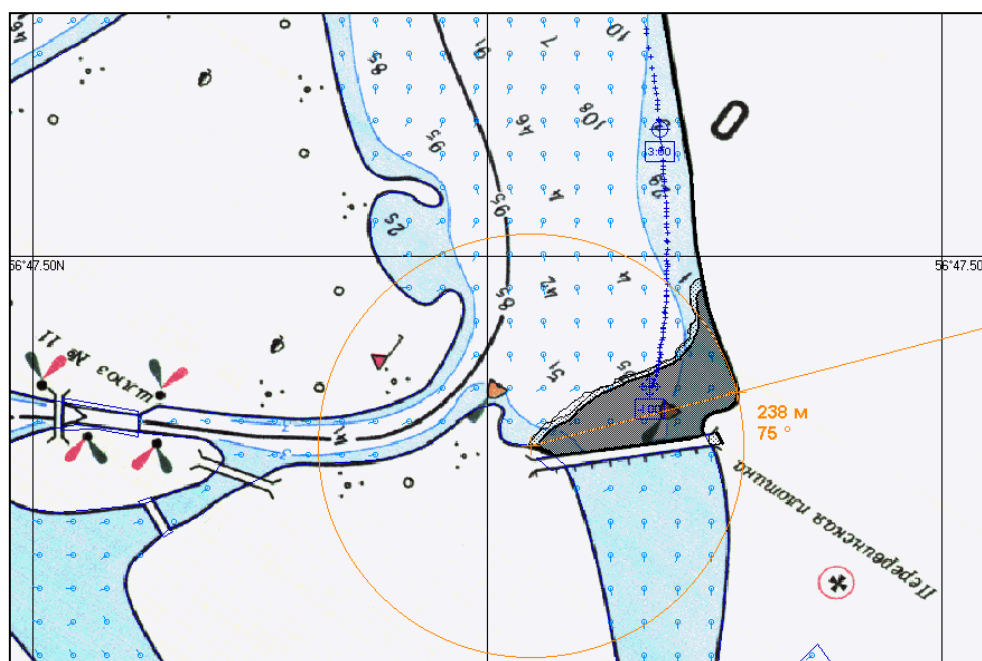


Рисунок 1. Карта разлива нефтепродукта на четыре часа (межень, масштаб 1:4000)

Таблица 2

Сценарий для дислокации источника в Южном порту Москвы в очаге аварийности 0,5 км канала имени Москвы (дизельное топливо, объем разлива 642,0 м³ (552,0 т), паводок, скорость течения 1,19 м/с, ветер северо-западный 15 м/с)

№	Свойства разлива	1 час	2 часа	3 часа	4 часа
1	Время достижения нефтяным пятном берега, час/мин	1 минута			
2	Дислокация пятна, км	147,7	147,7	147,7	147,7
3	Длина пятна, м	460	531	521	526
4	Ширина пятна, м	177	85,4	71,4	55,4
5	Загрязненный берег, м	1659	2403	2403	2421
6	Площадь пятна, м ²	44084	17767	14771	14209
7	Количество нефти на плаву, м ³	607,1	582,9	568,4	553,7
8	Количество испарившейся нефти, м ³	0,6	1,3	1,9	2,4
9	Количество нефти на берегу, м ³	19,9	29,4	29,4	29,7
10	Количество диспергированной нефти, м ³	14,4	28,4	42,3	56,1
11	Максимальная толщина пятна, мм	69,2	231,1	458,0	436,8
12	Вязкость, сСт	4,0	4,8	5,2	5,4
13	Расстояние между источником разлива и пятном, м; пеленг, град	2400 м; 150°	2400 м; 166°	2400 м; 166°	2400 м; 166°

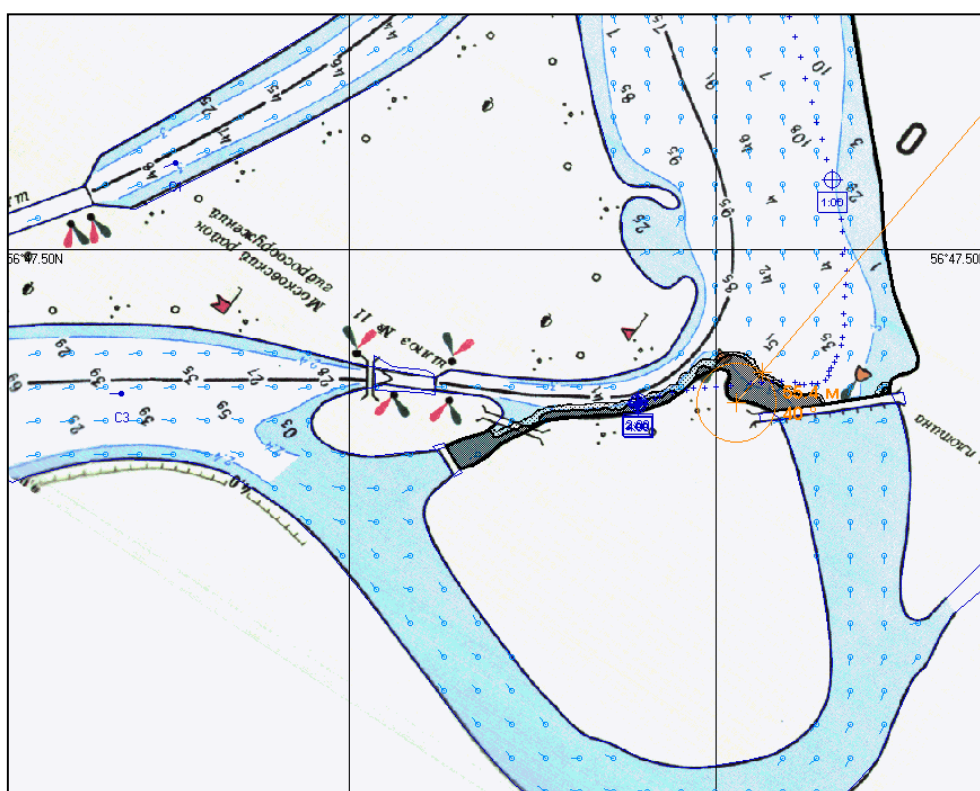


Рисунок 2. Карта разлива нефтепродукта на четыре часа (паводок, масштаб 1:5000)

Рассматривая таблицу 2, можно сделать следующие выводы:

Согласно моделированию и результатам, представленным в таблице 2, можно определить, что пятно достигнет берега за одну минуту после разлива, дислокация пятна не меняется со временем, что может означать, что пятно остается в одной и той же области.

Таблица 2 предоставляет детальную информацию о динамике разлива дизельного топлива в течение 4 часов. Она может использоваться для оценки воздействия разлива на окружающую среду, в частности на береговые линии и речную экосистему.

Площадь нефтяного загрязнения при гидрологическом режиме межень на четыре часа равна 17908 м². Площадь нефтяного загрязнения при гидрологическом режиме паводок на четыре часа составит 14209 м².

В ходе работы проведено прогнозирование воздействия поражающих факторов при пожаре разлива дизельного топлива в Южном порту Москвы в очаге аварийности транспортных судов на 0,5 км канала имени Москвы [15-17] (таблица 3, рис. 3).

Таблица 3

Сценарий пожара разлива в межennem гидрологическом режиме в Южном порту Москвы в очаге аварийности 0,5 км канала имени Москвы (дизельное топливо, объем разлива 642,0 м³ (552,0 т), межень, скорость течения 0,22 м/с, ветер северо-западный 5 м/с, максимальная площадь пятна на 1 час – 81965 м²)

№	Границы порогового уровня теплового излучения, м	Реципиент	Степень повреждения
1	426,5	Животные и человек	Непереносимая боль через 3-5 с Ожог 1-й степени через 6-8 с Ожог 2-й степени через 12-16 с
2	1218,6		Непереносимая боль через 20-30 с Ожог 1-й степени через 15-20 с Ожог 2-й степени через 30-40 с
3	5118,1		Безопасно для человека в брезентовой одежде
4	10155,1		Без негативных последствий в течение длительного времени
5	365,6	Растительный комплекс	Возгорание 15% древесины через 5 мин.
		Почвенный комплекс	Возгорание торфа, уничтожение верхнего слоя почвенного покрова через 3 мин.
		Техногенный комплекс	Возгорание ЛВЖ 3 мин.

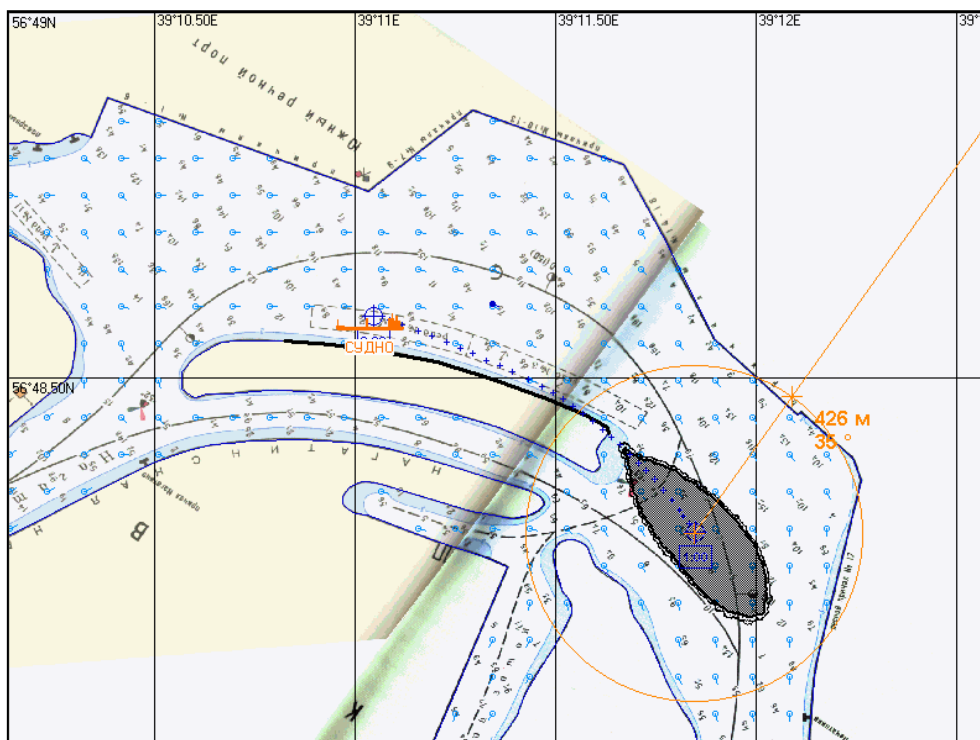


Рисунок 3. Граница зоны теплового воздействия 10,5 кВт/м² (масштаб 1:10 000)

Таблица 3 содержит информацию о пороговых уровнях теплового излучения и их воздействии на различные реципиенты (животные, человека, растения и техногенные объекты). Границы порогового уровня теплового излучения указывают на расстояние (в метрах), при котором воздействие теплового излучения может вызывать определенные эффекты. Данные значения варьируются от 365,6 до 10155,1 метров.

При низких значениях дистанции (например, 426,5 м) наблюдаются серьезные последствия для человека и животных. При этом уровне возникают ожоги различной степени тяжести.

На более высоких уровнях (например, 5118,1 м и выше) действуют ситуации, которые считаются безопасными для человека, что указывает на возможность суще-

ствования безопасной зоны при определенных условиях.

Особенно важным для экологии является определение уровня воздействия, при котором происходит возгорание растений и почвы, так как низкие уровни излучения могут вызвать пожар в растительных и почвенных системах.

Таблица 3 также может быть полезна в контексте оценки риска и принятия мер для защиты людей и окружающей среды от воздействия высоких температур и теплового излучения.

В ходе работы проведено прогнозирование воздействия поражающих факторов при взрыве разлива дизельного топлива в Южном порту Москвы в очаге аварийности транспортных судов на 0,5 км канала имени Москвы [18-20] (таблица 4, рис. 4).

Таблица 4

Сценарий взрыва разлива в меженном гидрологическом режиме в Южном порту Москвы в очаге аварийности 0,5 км канала имени Москвы (дизельное топливо, объем разлива 642,0 м³ (552,0 т), межень, скорость течения 0,22 м/с, ветер северо-западный 5 м/с, максимальная площадь пятна на 1 час – 81965 м²)

№ п/п	Степень поражения	Избыточное давление, кПа	Границы порогового уровня, м
1	Нижний порог повреждения человека волной давления	5	128,3
2	Умеренные повреждения (повреждение внутренних перегородок, рам, дверей и т.п.)	12	33,2
3	Средние повреждения	28	- ΔP _{max} =12,1 кПа R = 30,23 м
4	50%-ное разрушение	53	-
5	Полное разрушение	100	-

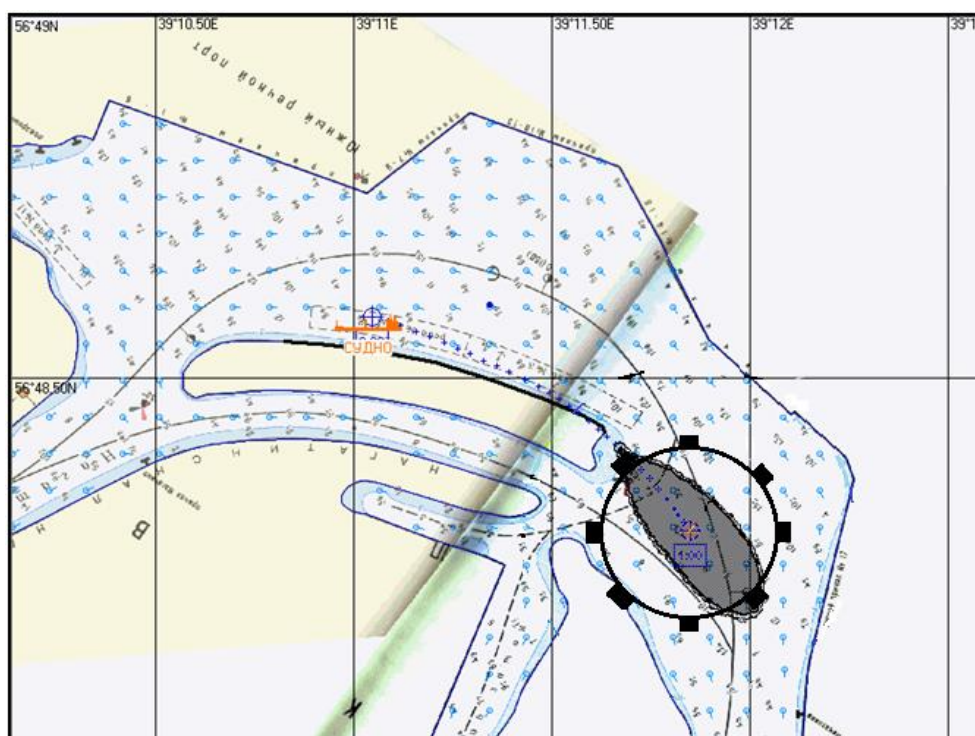


Рисунок 4. Граница зоны воздействия ударной волны мощностью 5 кПа

В таблице 4 представлены уровни избыточного давления (кПа), при котором наблюдаются указанные степени поражения, значения варьируются от 5 кПа (нижний порог) до 100 кПа (полное разрушение) [21-23].

Границы порогового уровня указывают на расстояние до точки, в которой соответствующая степень повреждения может произойти. Значения указаны для первых двух категорий, а для остальных – отсутствуют [24-25].

В таблице 4 проанализированы последствия воздействия давления на человека и различные конструкции. Указанные уровни давления помогают понять, при каких условиях могут возникать повреждения. Полученная информация может быть полезна для оценки рисков в ситуациях, связанных со взрывами или другими сосудами с повышенным давлением.

Выводы

В работе выполнено прогнозирование экологических последствий транспортных происшествий, связанных с разливами нефти и нефтепродуктов в Южном порту Москвы. В результате прогнозирования установлено:

- нефтяное загрязнение достигнет берега за одну минуту после разлива, пятно располагается на 147,7 км и не меняется со временем, данное наблюдение означает, что пятно остается в одной и той же области и формирует высокий уровень взрывоопасности;
- площадь нефтяного загрязнения при гидрологическом режиме - межень на четыре часа равна 17908 м². Площадь нефтяного загрязнения при гидрологическом режиме - паводок на четыре часа составляет 14209 м²;
- границы порогового уровня теплового излучения варьируются от 365,6 до 10155,1 метров;
- при низких значениях дистанции - 426,5 м наблюдаются серьезные последствия для человека и животных. При этом уровне возникают ожоги различной степени тяжести;

– на более высоких дистанциях - 5118,1 м действуют ситуации, которые считаются безопасными для человека, что указывает на возможность существования безопасной зоны при определенных условиях;

В ходе работы проанализированы границы уровней теплового излучения и границы уровней избыточного давления, а также последствия их воздействия на человека и различные конструкции. Рассмотренные негативные последствия и их уровни помогают понять, при каких условиях и на каких расстояниях могут возникать повреждения и причиняется вред человеку.

Полученная информация может быть полезна для оценки рисков в ситуациях, связанных с пожарами и взрывами разливов нефтепродуктов на акваториях внутренних водных путей.

Список литературы

1. Dayi Zhang, Aizhong Ding, Shuangchao Cui, Cheng Hu, Steven F. Thornton, Junfeng Dou, Yujiao Sun, Wei E. Huang, Whole cell bioreporter application for rapid detection and evaluation of crude oil spill in seawater caused by Dalian oil tank explosion, *Water Research*, Volume 47, Issue 3, 2013, Pages 1191-1200, ISSN 0043-1354. DOI: 10.1016/j.watres.2012.11.038 EDN: RHZIDT
2. Peterson CH, Rice SD, Short JW, Esler D, Bodkin JL, Balla-chey BE, Irons DB (2003) Long-term ecosystem res ponseto the Exxon Valdez oil spill. DOI: 10.1126/science.1084282
3. Piatt, J.F., C.J. Lensink, W. Butler, M. Kendziorek and D.R. Nysewander. 1990. Immediate Impact of the 'Exxon Valdez' Oil Spill on Marine Birds. *The Auk*. 107(2):387-397. DOI: 10.2307/4087623
4. Bence, A. E., Kvenvolden, K. A., & Kennicutt, M. C. (1996). Organic geochemistry applied to environmental assessments of Prince William Sound, Alaska, after the Exxon Valdez oil spilla review. *Organic Geochemistry*, 24(1), 7-42. DOI: 10.1016/0146-6380(96)00010-1 EDN: ALQCOB

5. Bragg, J.R., Prince, R.C., Harner, E.J., and Atlas, R.M. (1994) Effectiveness of bioremediation for the Exxon Valdez oil spill. *Nature* 368: 413-418. DOI: 10.1038/368413a0
6. R. Camilli, C.M. Reddy, D.R. Yoerger, BAS Van Mooy, M.V. Jakuba (2010), Tracking hydrocarbon plume transport and biodegradation at Deepwater Horizon *Science* 330 (6001), 201-204.
7. Tecon, R., & Van der Meer, J. (2008). Bacterial Biosensors for Measuring Availability of Environmental Pollutants. *Sensors*, 8(7), 4062-4080. DOI: 10.3390/s8074062
8. Оценка воздействия разливов нефти на экологически чувствительные районы в Печорском бассейне / Е.Ю. Шматкова, А.Е. Пластинин, А.П. Балденков, А.Н. Бородин. - Текст: электронный // Великие реки - 2020: Труды 22-го международного научно-промышленного форума, Нижний Новгород, 27-29 мая 2020 года. - Нижний Новгород: Волжский государственный университет водного транспорта, 2020. - С. 18. EDN: ROKDVF
9. Головацкая, Л.И. Оценка площади нефтяного загрязнения при разливах газового конденсата в Каспийском море / Л.И. Головацкая, А.Н. Бородин, А. Е. Пластинин // Морские интеллектуальные технологии. - 2023. - № 2-1(60). - С. 315-319. DOI: 10.37220/МИТ.2023.60.2.039 EDN: MEQVPB
10. Сравнительная динамика изменения качества дистиллированной и природной воды при длительном контакте с некоторыми судовыми конструкционными материалами / Н.Ш. Ляпина, И.Б. Мясникова, А.А. Иконников, А.Н. Бородин. - Текст: электронный // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. - 2005. - № 12. - С. 171-176. - URL: item.asp?id=18411334 (дата обращения: 10.05.2024). EDN: PMXHAN
11. Приказ Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий № 404 от 10.07.2009 г. «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах».
12. 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. - Текст: непосредственный. ISBN: 978-5-696-05206-9
13. 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.vi74.3414 EDN: YLZIGA
14. Предотвращение загрязнения окружающей среды при эксплуатации судов на Северном морском пути планированием работы ледокольного флота / О. М. Пинаева, А. Е. Пластинин, А. А. Разин, Е. А. Уварова. - Текст: электронный // Проблемы экологии Волжского бассейна: Труды 4-й всероссийской научной конференции, Нижний Новгород, 30-31 октября 2019 года. - Нижний Новгород: Волжский государственный университет водного транспорта, 2019. - С. 21. EDN: LUVRBW
15. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023683871 Российская Федерация. Информационно-аналитическая поддержка мероприятий по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов. Оценка размеров вреда водному объекту: № 2023683646: заявл. 10.11.2023: опублик. 10.11.2023 / Л. И. Головацкая, А. Е. Пластинин, А. Н. Бородин [и др.]; заявитель ФГБОУ ВО «Волжский государственный университет водного транспорта». EDN: ШЗDX

16. Прогнозирование разливов нефти с судов в Оленекском заливе / А.Е. Пластинин, А.Н. Каленков // Научные проблемы водного транспорта. - 2023. - №75. - С. 217-228. DOI: 10.37890/jwt.vi75.379 EDN: ZGCWGB
17. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2023623610 Российская Федерация. База данных по источникам разливов нефти и нефтепродуктов: № 2023623290: заявл. 11.10.2023: опубл. 24.10.2023 / Л.И. Головацкая, А.Е. Пластинин, А.Н. Бородин, А.С. Воробьева; ФГБОУ ВО «Волжский государственный университет водного транспорта». EDN: ITXKIK
18. Оценка рисков возникновения и последствий разливов нефти в бассейне Карского моря / А.Е. Пластинин, О.А. Домнина, В.С. Наумов [и др.]. - Нижний Новгород: Волжский государственный университет водного транспорта, 2020. - 220 с. - Текст: непосредственный. ISBN: 978-5-901722-72-5 EDN: NZMHWЕ
19. Проблемы экономической безопасности: вызовы новой реальности / Е.В. Алексеева, В.В. Бехер, Т.А. Вerezубова [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. - Текст: непосредственный. ISBN: 978-5-696-05372-1 EDN: JGEVFM
20. Прогнозирование нефтяного загрязнения при разливах газового конденсата в Каспийском море / Л. И. Головацкая, А. Н. Бородин, А. Е. Пластинин // Транспорт. Горизонты развития: Труды 3-го Международного научно-промышленного форума, Нижний Новгород, 14-16 июня 2023 года. - Нижний Новгород: Волжский государственный университет водного транспорта, 2023. - С. 48. EDN: BVJQBF
21. Милютин 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. DOI: 10.31089/1026-9428-2019-59-10-855-859 EDN: RSXOLG
22. Проблемы экономической безопасности: новые решения в условиях ключевых трендов экономического развития / М. Стуль, Ш. А. Смагулова, А. Е. Ермуханбетова [и др.]; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации; Южно-Уральский государственный университет, Кафедра «Экономическая безопасность». - Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2020. - 461 с. - Текст: непосредственный. ISBN: 978-5-696-05149-9 EDN: PPMKOV
23. Ликвидация нефтяного загрязнения в морском порту Зарубино / О.А. Шагалова, А.Н. Бородин, А.Ю. Казанцев, А.Д. Шапошников // В сборнике: Транспорт. Горизонты развития. Труды 2-го Международного научно-промышленного форума. Нижний Новгород. - 2022. - С. 66. EDN: OGICAH
24. Reshnyak, V. Evaluating environmental hazards of the potential sources of accidental spills / V. Reshnyak, O. Domnina, A. Platinin. - 10.1088/1755-1315/867/1/012046. - Текст: электронный // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021 International Symposium "Earth Sciences: History, Contemporary Issues and Prospects, ESHCIP 2021". IOP Publishing Ltd. - 2021. - С. 012046. DOI: 10.1088/1755-1315/867/1/012046. EDN: QTOOYD
25. Оценка качества воды реки Волги в районе Подновского рейда нефтеналивных судов по азотосодержащим соединениям / М.Д. Павликова, А.Н. Бородин, А.Е. Пластинин // Научные проблемы водного транспорта. - 2022. - № 73. - С. 266-275. DOI: 10.37890/jwt.vi73.303 EDN: AUONJR

References

1. Dayi Zhang, Aizhong Ding, Shuangchao Cui, Cheng Hu, Steven F. Thornton, Junfeng Dou, Yujiao Sun, Wei E. Huang, Whole cell bioreporter application for rapid detection and evaluation of crude oil spill in seawater caused by Dalian oil tank explosion, *Water Research*, Volume 47, Issue 3, 2013, Pages 1191-1200, ISSN 0043-1354, <https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.11.038>
2. Peterson CH, Rice SD, Short JW, Esler D, Bodkin JL, Balla-chey BE, Irons DB (2003) Long-term ecosystem response to the Exxon Valdez oil spill. *Science* 302:2 082–2086.
3. Piatt, J.F., C.J. Lensink, W. Butler, M. Kendziorek and D.R. Nysewander. 1990. Immediate Impact of the 'Exxon Valdez' Oil Spill on Marine Birds. *The Auk*. 107(2):387-397.
4. Bence, A. E., Kvenvolden, K. A., & Kennicutt, M. C. (1996). Organic geochemistry applied to environmental assessments of Prince William Sound, Alaska, after the Exxon Valdez oil spill: a review. *Organic Geochemistry*, 24(1), 7-42. DOI: 10.1016/0146-6380(96)00010-1.
5. Bragg, J.R., Prince, R.C., Harner, E.J., and Atlas, R.M. (1994) Effectiveness of bioremediation for the Exxon Valdez oil spill. *Nature* 368: 413-418.
6. R Camilli, CM Reddy, DR Yoerger, BAS Van Mooy, MV Jakuba (2010), Tracking hydrocarbon plume transport and biodegradation at Deepwater Horizon *Science* 330 (6001), 201-204/
7. Tecon, R., & Van der Meer, J. (2008). Bacterial Biosensors for Measuring Availability of Environmental Pollutants. *Sensors*, 8(7), 4062–4080. DOI: 10.3390/s8074062.
8. E.I.U. SHmatkova, A.E. Plastinin, A.P. Baldenkov, A.N. Borodin. Otsenka vozdeistviia razlivov nefi na ekologicheski chuvstvitel'nye raiony v Pechorskome basseine. *Velikie reki - 2020: Trudy 22-go mezhdunarodnogo nauchno-promyshlennogo foruma, Nizhnii Novgorod, 27–29 maya 2020 goda. Nizhnii Novgorod: Volzhskii gosudarstvennyi universitet vodnogo transporta*, 2020. p. 18. URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_44631516_19167764.pdf (accessed: 10.05.2024).
9. Golovatskaia, L.I. Otsenka ploshchadi nefiyanogo zagriazneniia pri razlivakh gazovogo kondensata v Kaspiiskom more / L.I. Golovatskaia, A.N. Borodin, A. E. Plastinin. *Morskii intellektual'nye tekhnologii*. 2023. No 2-1(60). pp. 315-319. DOI 10.37220/MIT.2023.60.2.039 EDN MEQVPB
10. Sravnitel'naia dinamika izmeneniia kachestva distillirovannoi i prirodnoi vody pri dlitel'nom kontakte s nekotorymi sudovymi konstruktsionnymi materialami / N.SH. Liapina, I.B. Miasnikova, A.A. Ikonnikov, A.N. Borodin. *Vestnik Volzhskoi gosudarstvennoi akademii vodnogo transporta*. 2005. No 12. pp. 171-176. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18411334> (accessed: 10.05.2024).
11. Prikaz Ministerstva Rossiiskoi Federatsii po delam grazhdanskoi oborony, chrezvychainym situatsiiam i likvidatsii posledstviu stikhiinykh bedstviu no 404 ot 10.07.2009 g. «Ob utverzhdenii metodiki opredeleniia raschetnykh velichin pozharnogo riska na proizvodstvennykh objektakh».
12. 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 «Ekonomicheskaiia bezopasnost'». Cheliabinsk: IUzhno-Ural'skii gosudarstvennyi universitet (natsional'nyi issledovatel'skii universitet), 2021. ISBN 978-5-696-05206-9
13. Prognozirovanie razlivov nefi s sudov v Amurskom basseine / A.N. Kalenkov, A.E. Plastinin. *Nauchnye problemy vodnogo transporta*. 2023. No 74. pp. 216-228. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi74.3414>.

14. Predotvrashchenie zagriazneniia okruzhaiushchei sredy pri ekspluatatsii sudov na Severnom morskome puti planirovaniem raboty ledokol'nogo flota / O. M. Pinaeva, A. E. Plastinin, A. A. Razin, E. A. Uvarova. Problemy ekologii Volzhskogo basseina: Trudy 4-i vserossiiskoi nauchnoi konferentsii, Nizhnii Novgorod, 30–31 oktiabria 2019 goda. Nizhnii Novgorod: Volzhskii gosudarstvennyi universitet vodnogo transporta, 2019. p. 21. URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_43057007_37900826.pdf (accessed: 20.04.2024).
15. Svidetel'stvo o gosudarstvennoi registratsii programmy dlia EVM no 2023683871 Rossiiskaia Federatsiia. Informatsionno-analiticheskaia podderzhka meropriatii po preduprezhdeniiu i likvidatsii razlivov nefi i nefteproduktov. Otsenka razmerov vreda vodnomu obektu: No 2023683646: zaiavl. 10.11.2023: opubl. 10.11.2023 / L. I. Golovatskaia, A. E. Plastinin, A. N. Borodin [i dr.]; zaiavitel' Federal'noe gosudarstvennoe biudzhethoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniia «Volzhskii gosudarstvennyi universitet vodnogo transporta». EDN IIIZDX
16. Prognozirovanie razlivov nefi s sudov v Olenekskom zalive / A.E. Plastinin, A.N. Kalenkov. Nauchnye problemy vodnogo transporta. No75, 2023. pp. 217-228. DOI: 10.37890/jwt.vi75.379
17. Svidetel'stvo o gosudarstvennoi registratsii bazy dannykh № 2023623610 Rossiiskaia Federatsiia. Baza dannykh po istochnikam razlivov nefi i nefteproduktov: No 2023623290: zaiavl. 11.10.2023: opubl. 24.10.2023. L.I. Golovatskaia, A.E. Plastinin, A.N. Borodin, A.S. Vorob'eva; zaiavitel' Federal'noe gosudarstvennoe biudzhethoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniia «Volzhskii gosudarstvennyi universitet vodnogo transporta». EDN ITXKIK
18. Otsenka riskov vozniknoveniia i posledstviu razlivov nefi v basseine Karskogo moria / A.E. Plastinin, O.L. Domnina, V.S. Naumov [i dr.]. Nizhnii Novgorod: Volzhskii gosudarstvennyi universitet vodnogo transporta, 2020. 220 p. ISBN 978-5-901722-72-5.
19. 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 «Ekonomicheskaiia bezopasnost'». CHeliabinsk: IUzhno-Ural'skii gosudarstvennyi universitet (natsional'nyi issledovatel'skii universitet), 2023. 732 p. ISBN 978-5-696-05372-1.
20. Prognozirovanie neftianogo zagriazneniia pri razlivakh gazovogo kondensata v Kaspiiskom more / L. I. Golovatskaia, A. N. Borodin, A. E. Plastinin. Transport. Gorizonty razvitiia: Trudy 3-go Mezhdunarodnogo nauchno-promyshlennogo foruma, Nizhnii Novgorod, 14–16 iunia 2023 goda. Nizhnii Novgorod: Volzhskii gosudarstvennyi universitet vodnogo transporta, 2023. p. 48.
21. Miliutina M.IU., Makarova E.V., Ivanova IU.V., Men'kov N.V., Plastinina S.S. Rannee sosudistoe starenie u lits, rabotaiushchikh v usloviakh vozdeistviia promyshlennogo aerozolia. Meditsina truda i promyshlennaia ekologiia. No 10, v. 59, 2019. pp. 855-859.
22. Problemy ekonomicheskoi bezopasnosti: novye resheniia v usloviakh kliuchevykh trendov ekonomicheskogo razvitiia / M. Stul', SH. A. Smagulova, A. E. Ermukhanbetova [i dr.]; Ministerstvo nauki i vysshego obrazovaniia Rossiiskoi Federatsii; IUzhno-Ural'skii gosudarstvennyi universitet, Kafedra «Ekonomicheskaiia bezopasnost'». CHeliabinsk: Izdatel'skii tsentr IUUrGU, 2020. 461 p. ISBN 978-5-696-05149-9.
23. Likvidatsiia neftianogo zagriazneniia v morskome portu Zarubino / O.A. SHagalova, A.N. Borodin, A.IU. Kazantsev, A.D. Shaposhnikov. V sbornike: Transport. Gorizonty razvitiia. Trudy 2-go Mezhdunarodnogo nauchno-promyshlennogo foruma. Nizhnii Novgorod. 2022. p. 66.

24. V. Reshnyak, O. Domnina, A. Plastinin Evaluating environmental hazards of the potential sources of accidental spills. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021 International Symposium "Earth Sciences: History, Contemporary Issues and Prospects, ESHCIP 2021". IOP Publishing Ltd. 2021. p. 012046. DOI: 10.1088/1755-1315/867/1/012046.- EDN: QTOOYD

25. Otsenka kachestva vody reki Volgi v raione Podnovskogo reida neftenalivnykh sudov po azotosoderzhashchim soedineniyam / M.D. Pavlikova, A.N. Borodin, A.E. Plastinin. Nauchnye problemy vodnogo transporta. No 73, 2022. pp. 266-275. DOI: 10.37890/jwt.vi73.303.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ/ ABOUT THE AUTHORS

Шапошников Алексей Дмитриевич, аспирант кафедры охраны окружающей среды и производственной безопасности Волжский государственный университет водного транспорта. 603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, leha.shaposhnikoff@yandex.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

Shaposhnikov Alexey Dmitrievich Post-graduate at the Department of Environmental Protection and Industrial Safety, Volga State University of Water Transport, Russia, Nizhny Novgorod, 5, str. Nesterova, 603950

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