

## **ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

УДК 004.942: 504.4.054  
DOI: 10.37890/jwt.vi71.267

### **Моделирование процессов распространения загрязнения при аварии сухогрузных судов**

**О.Л. Домнина<sup>1</sup>**

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9098-313X>

**И.В. Липатов<sup>1</sup>**

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8770-0522>

<sup>1</sup>*Волжский государственный университет водного транспорта», г. Нижний Новгород, Россия*

**Аннотация.** Загрязнения, происходящие с сухогрузными судами, могут сопровождаться серьезными экологическими последствиями. При этом объектом анализа стали аварии с сухогрузными судами, перевозящими техническую соль. Их последствия могут быть связаны с растворением соли в речном водоеме, образованию примесей и их взаимодействию с фоновыми загрязняющими веществами. Как следствие, это может приводить к усилению коррозии водозаборных сооружений, увеличению возможных экологических убытков. Данная работа является продолжением работ авторов, связанных с распространением загрязнений от транспортных происшествий на внутренних водных путях, оценкой экологического риска таких происшествий. Все это говорит о необходимости моделирования процессов распространения загрязняющих веществ при прогнозировании последствий таких аварий. В данной работе был выбран участок в районе 911 - 913 км р. Волги. Моделирование осуществлялось с помощью программного комплекса FlowVision. В статье показаны этапы проведенного моделирования процесса распространения загрязнения с учетом скорости речного потока, диаметра частиц загрязнения и химических реакций, наступающих при попадании груза в воду. Выявлены области концентрации отложений загрязнений, что позволит в будущем предложить оптимальную схему участка для оздоровления его экологии, а также уточнить методику прогнозируемого экологического ущерба.

**Ключевые слова:** транспортные происшествия; сухие грузы; моделирование загрязнения; аварии сухогрузных судов; водный транспорт

### **Modeling of pollution expansion processes in case of dry cargo ship accidents**

**Olga L. Domnina<sup>1</sup>**

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9098-313X>

**Igor V. Lipatov<sup>1</sup>**

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8770-0522>

<sup>1</sup>*Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia*

**Abstract.** Pollution occurring with dry cargo ships can be accompanied by serious environmental consequences. At the same time, the object of the analysis was accidents with dry cargo ships carrying technical salt. Their consequences may be connected with the dissolution of salt in a river reservoir, the formation of impurities and their interaction with

background pollutants. As a consequence, this can lead to increased corrosion of water intake structures, an increase in possible environmental losses. This work is a continuation of the authors' work related to the spread of pollution from transport accidents on inland waterways, assessment of the environmental risk of such accidents. All this suggests the need to model the processes of the spread of pollutants in predicting the consequences of such accidents. In this work, a site was selected in the area of 911 -913 km of the Volga River. Modeling was carried out using the FlowVision software package. The article shows the stages of the modeling of the pollution expansion process taking into account the speed of the river flow, the diameter of the pollution particles and chemical reactions occurring when the cargo enters the water. The areas of concentration of pollution deposits have been identified, which will allow in the future to propose an optimal scheme of the site for improving its ecology, as well as to clarify the methodology of predicted environmental damage.

**Keywords:** transport accidents; dry cargo; pollution modeling; dry cargo ship accidents; water transport

### **Введение**

Загрязнение, происходящее в результате аварий с сухогрузными судами, может приводить к тяжелым экологическим последствиям на прилегающих территориях [1,2,3]. В зависимости от перевозимого груза, географических особенностей водного участка, наличия поблизости водозабора, находящегося рядом с населенным пунктом и других условий последствия таких аварий могут быть весьма существенными [3]. Так, при авариях с судами, перевозящими техническую соль, могут приводить к усилению коррозии водозаборных сооружений, перемешиванию и растворению ее в речном водоеме, образованию примесей и их взаимодействия с фоновыми загрязняющими веществами. Сказанное обуславливает необходимость при прогнозировании последствий таких аварий моделировать процессы распространения загрязняющих веществ [4 – 14].

Моделированию экологических последствий сбросов опасных грузов при эксплуатации судов посвящен ряд работ, но все они в основном, посвящены моделированию разливов нефти на море [4 – 13] или на внутренних водных путях [14 – 17]. Моделированию распространения загрязнения сухих грузов на внутренних водных путях уделено недостаточное внимание.

Вместе с тем, как отмечено в работе [13], ежегодно более 2,15 миллиона тонн навалочных грузов могут попадать в водную среду.

Необходимо также отметить, что в практике оценки экологических последствий используются в основном консервативные подходы к оценке зоны загрязнения [18]. Вместе с тем, полученные по консервативным подходам данные о загрязнении могут отличаться от данных, полученных при моделировании загрязнения с учетом русловых особенностей, скорости течения, химических реакций при попадании груза в воду. Для современных задач уже недостаточно определить экстремальные значения негативных факторов и их местоположение в пространстве. Поэтому представляется актуальным проведение анализа распространения загрязнения сухим грузом в случае аварии судна с помощью методов математического моделирования.

Данное исследование является логическим продолжением более ранней работы, выполненной с участием авторов [19,20].

Целью данной работы является математическое моделирование процессов распространения технической соли в границах одного из участков Волжского бассейна.

Для достижения этой цели авторами были сформулированы следующие задачи:

- обосновать выбор участка для анализа;

- провести моделирование процесса размывания твердых, нерастворимых частиц при попадании их в речной участок при авариях с технической солью и смесями;
- провести моделирование возможных вариантов распространения шлейфа консервативных и неконсервативных веществ при попадании их в речной поток при авариях с судов при перевозке технической соли.
- проанализировать полученные результаты.

### **Материалы и методы**

Для выполнения процессов моделирования на основе проведенных ранее исследований [12] был выбран участок с умеренным риском в районе 911 - 913 км. Участок выбран в силу его расположения рядом с таким крупным городом на Волге как Нижний Новгород и возможными экологическими последствиями для города. Кроме того, данный участок включает основное русло и затон как единую систему. Поэтому представляет интерес рассмотрения в ней процесса переноса загрязняющих веществ.

Процесс моделирования выполнялся в несколько этапов:

1. Создание геометрии расчетной области.
2. Формулировка математической модели и граничных условий.
3. Генерация расчетной конечно-элементной сетки.
4. Решение уравнений математической модели.
5. Анализ полученных результатов.

Моделирование осуществлялось с помощью программного комплекса FlowVision. Этот пакет используется для анализа на транспорте и в окружающей среде и позволяет решать уравнения Навье-Стокса с учетом таких факторов, как турбулентность, перенос дисперсных примесей и химических реакций между грузом и окружающей средой.

Область решения (пространство течения речного потока) формировалась на базе твердотельной геометрической CAD модели. Последняя создавалась на основе натуральных данных, полученных с изыскательской русловой партии. Данные были получены в виде текстового файла, представляющего собой набор точек, с тремя координатами (x, y, z). После импортирования было создано облако точек на видовом экране. Каждая из точек занимает свое положение относительно своих координат в пространстве.

По облаку точек строится цифровая поверхность рельефа (ЦМР) дна. После ее создания была разработана твердотельная модель участка, которая в дальнейшем позволила импортировать модель в программный комплекс.

Традиционно отправной точкой описания любых гидродинамических процессов является решение полной системы дифференциальных уравнений Навье-Стокса [20]:

$$\begin{aligned}
 \frac{dV_x}{dt} - \nu \cdot \left( \frac{\partial^2 V_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V_x}{\partial z^2} \right) &= -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial x} \\
 \frac{dV_y}{dt} - \nu \cdot \left( \frac{\partial^2 V_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V_y}{\partial z^2} \right) &= -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial y} \\
 \frac{dV_z}{dt} - \nu \cdot \left( \frac{\partial^2 V_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V_z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V_z}{\partial z^2} \right) &= -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial z} \\
 \frac{dV_z}{dx} + \frac{dV_z}{dy} + \frac{dV_z}{dz} &= -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial t}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

где:  $v_x, v_y, v_z$  – компоненты скоростей в проекции на соответствующую ось;  
 $P$  – давление в конкретной точке потока;  
 $\nu$  – эффективная вязкость, определяемая выражение:

$$\nu = \nu_k + \nu_t \tag{2}$$

где:  $\nu_k$  – кинематическая вязкость среды;  
 $\nu_t$  – турбулентная вязкость (коэффициент турбулентного обмена). Наиболее распространенным способом описания этой величины является  $k - \epsilon$  подход. Согласно ему, величина коэффициента турбулентного обмена определяется по формуле:

$$\nu_t = c_p \cdot \frac{k^2}{\epsilon} \tag{3}$$

где:  $k$  – кинетическая энергия турбулентности;  
 $c_p$  – турбулентная константа среды;  
 $\epsilon$  – диссипация турбулентной энергии.

Последние две величины, в свою очередь, определяются по своим математическим моделям, наиболее популярной из которых является модель второго порядка Джонсона – Лаундера.

При моделировании осуществлялось варьирование скорости потока от 0.1 до 2 м/с, моделирование размыва нерастворимых частиц с помощью подхода Лагранжа, реакции растворения при попадании соли в воду.

### Результаты и обсуждение

При создании геометрии расчетной области были использованы натурные данные, полученные с промерного комплекса изыскательского судна русловой партии № 25 Нижегородского района водных путей и судоходства. Изыскания включали съемку рельефа дна реки движением промерного судна по галсам. Впоследствии полученные данные о глубинах и плановом положении точек замера в глобальной системе координат (рис.1) интерполировались на равномерную сетку и экспортировались в пакет формирования твердотельной модели (рис.2). Файл экспорта представляет собой текстовый файл. В нем точки поверхности земли (дно реки и примыкающие берега) фиксировались в виде трехмерного массива (рис. 1).

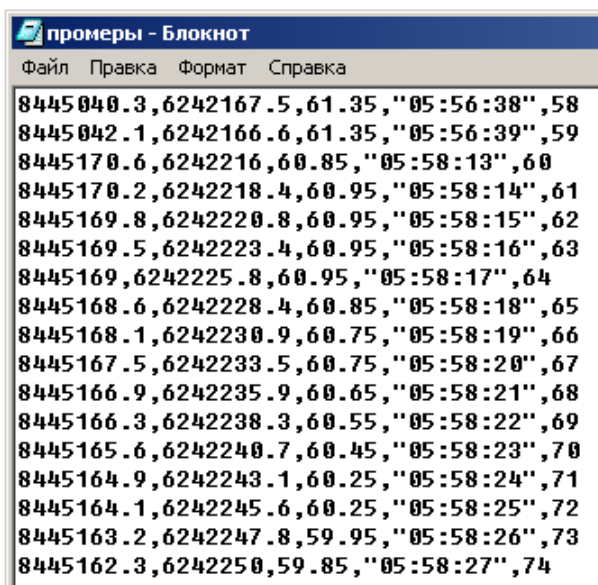


Рис. 1. Результаты промеров участка 910-913 км реки Волги

На следующем этапе, в графическом пакете *Civil AutoCAD* по опорным точкам была сформирована поверхность территории русла с прилегающими территориями в виде 3D плоскости. Впоследствии плоскость с помощью Булевых операций трансформировалась в твердотельную модель исследуемого участка русла (рис. 2).

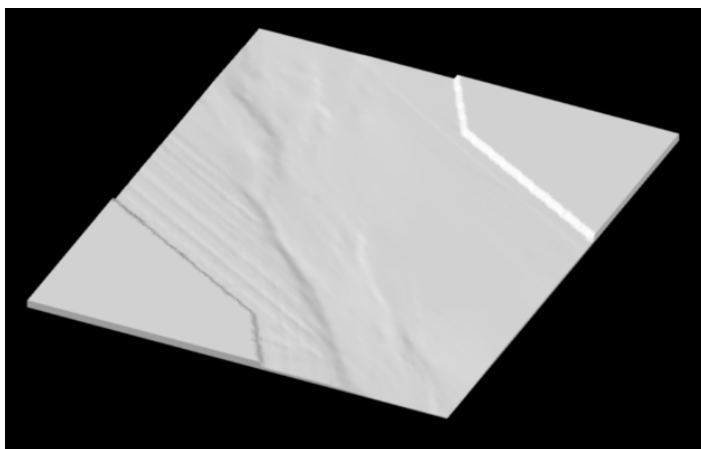
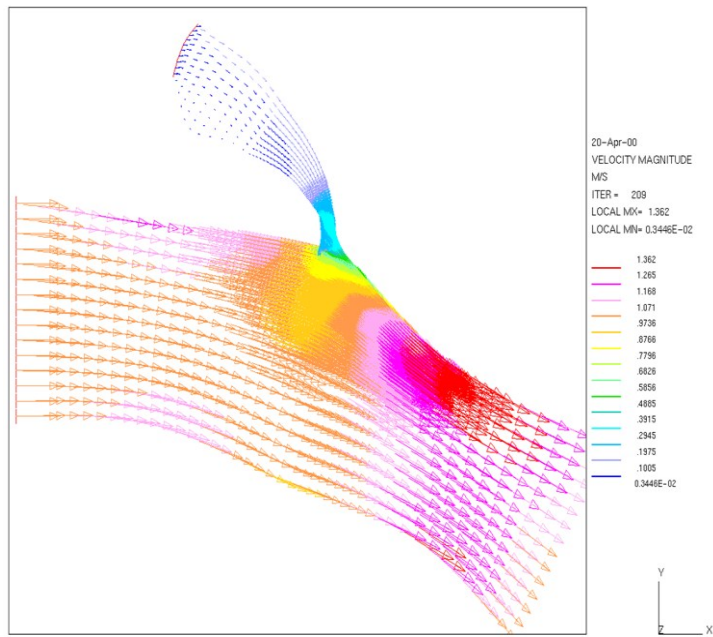
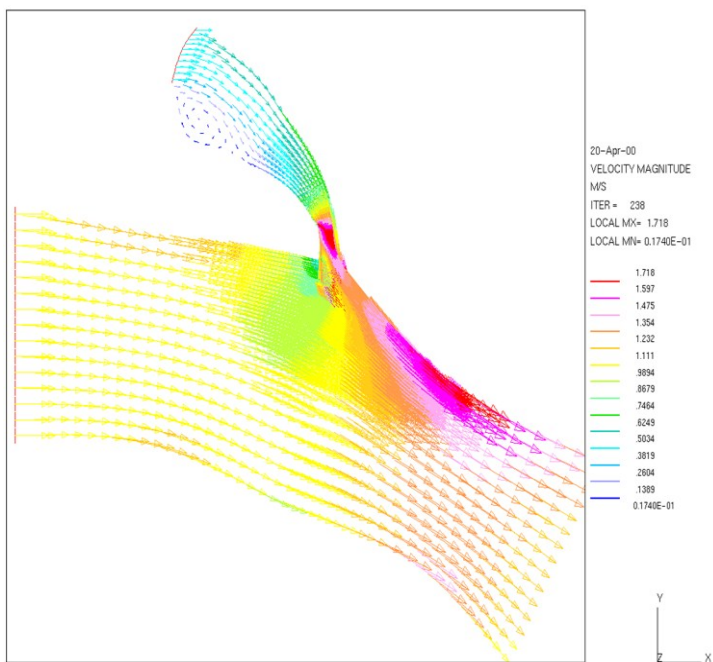


Рис. 2. Цифровая модель рельефа дна основного дна участка 910-913 км реки Волги

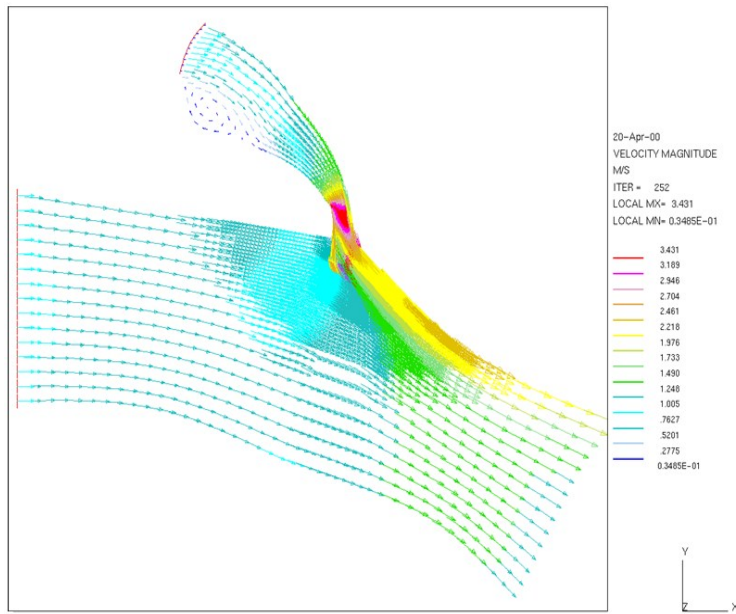
Предположим, что авария произошла в затоне. При изменении скорости потока от 0,1 до 2 м/с можно с помощью программного комплекса с учетом модели крупных вихрей и турбулентности увидеть изменение кинематической структуры потоков под влиянием изменения их скорости на входе в затон (рис. 3).



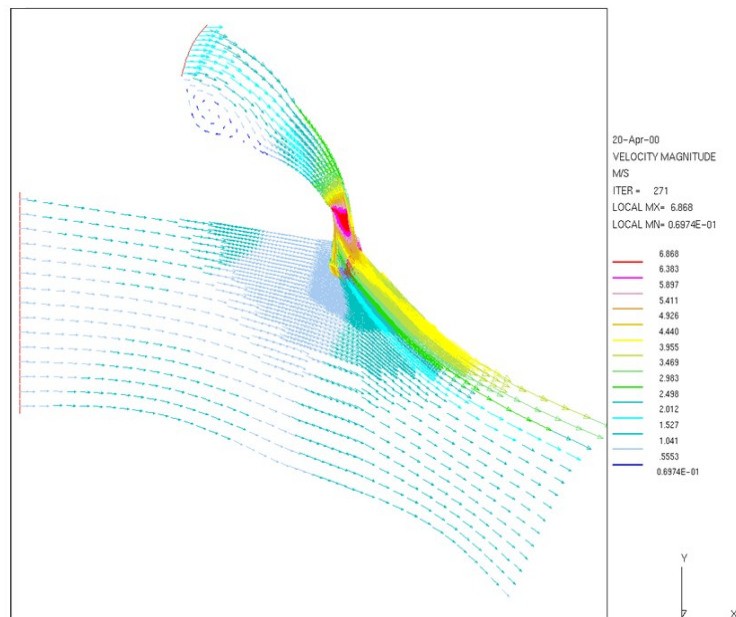
а) скорость потока 0,1 м/с



б) скорость потока 0,5 м/с



в) скорость потока 1 м/с



г) скорость потока 2 м/с

Рис. 3. Кинематическая структура потока при его различных скоростях

Из рис. 3 виден характер смещения градиентов скоростей в устьевую зону и формирование циркулярной и застойных зон при увеличении скорости потока. То

есть, с ростом скоростей промыва затона в области циркуляции потока будет расти «взмучивание» речного потока вдоль правого по течению берега. Вдоль левого берега после роста скоростей промыва до 0.5 м/с установится стабильный транзитный поток. Последний сам начнет очистку этой области русла и оздоровления экологической ситуации в затоне. Помимо этого, анализ данных рис. 3 показывает, что с ростом скоростей промыва в затоне (с целью очистки дна последнего) будут интенсифицироваться береговые деформации на левой стороне, то есть левый берег в зоне сочленения начнет резко размываться.

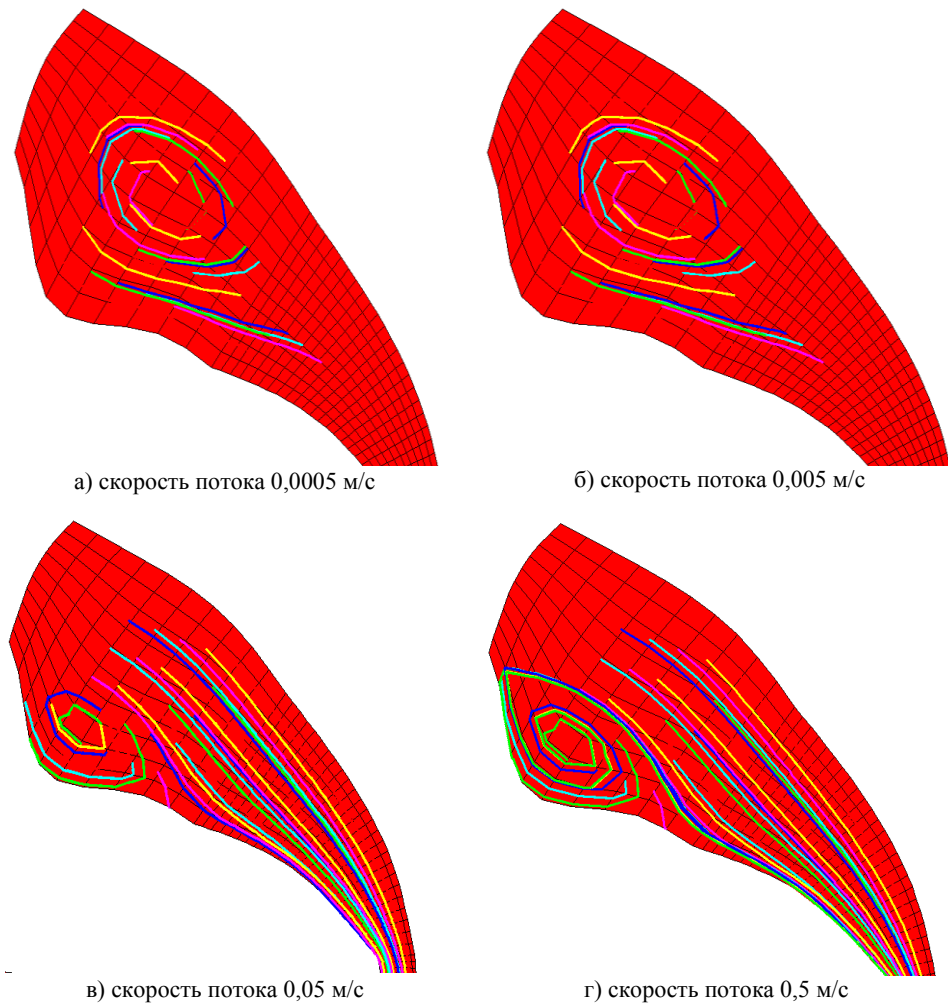


Рис. 4. Изменение траекторий движения частиц при его различных скоростях речного потока

Моделирование процесса размывания нерастворимых частиц в рассматриваемом затоне речным потоком осуществлено авторами на базе подхода Лагранжа с учетом вызванных турбулентностью случайных возмущений траекторий. В зависимости от формы нерастворимых частиц были определены с помощью программного комплекса коэффициент сопротивления, величина присоединенной массы среды и другие



факторы. Так, на рис.4 проиллюстрированы траектории перемещения нерастворимых частиц при различных значениях скорости движения речного потока.

Как видно из рис. 4, при низких скоростях (до 0,05 м/с) формируются области вертикальной турбулентности, не давая частицам диаметром 0,1 мм и плотностью 2700кг/куб. м покинуть границы затона. При увеличении скорости до 0,5 м/с частицы выносятся за пределы затона в общее русло реки в правобережной зоне. Аналогичная картина видна при изменении диаметра частиц при фиксированной скорости потока 0,05 м/с (рис. 5).

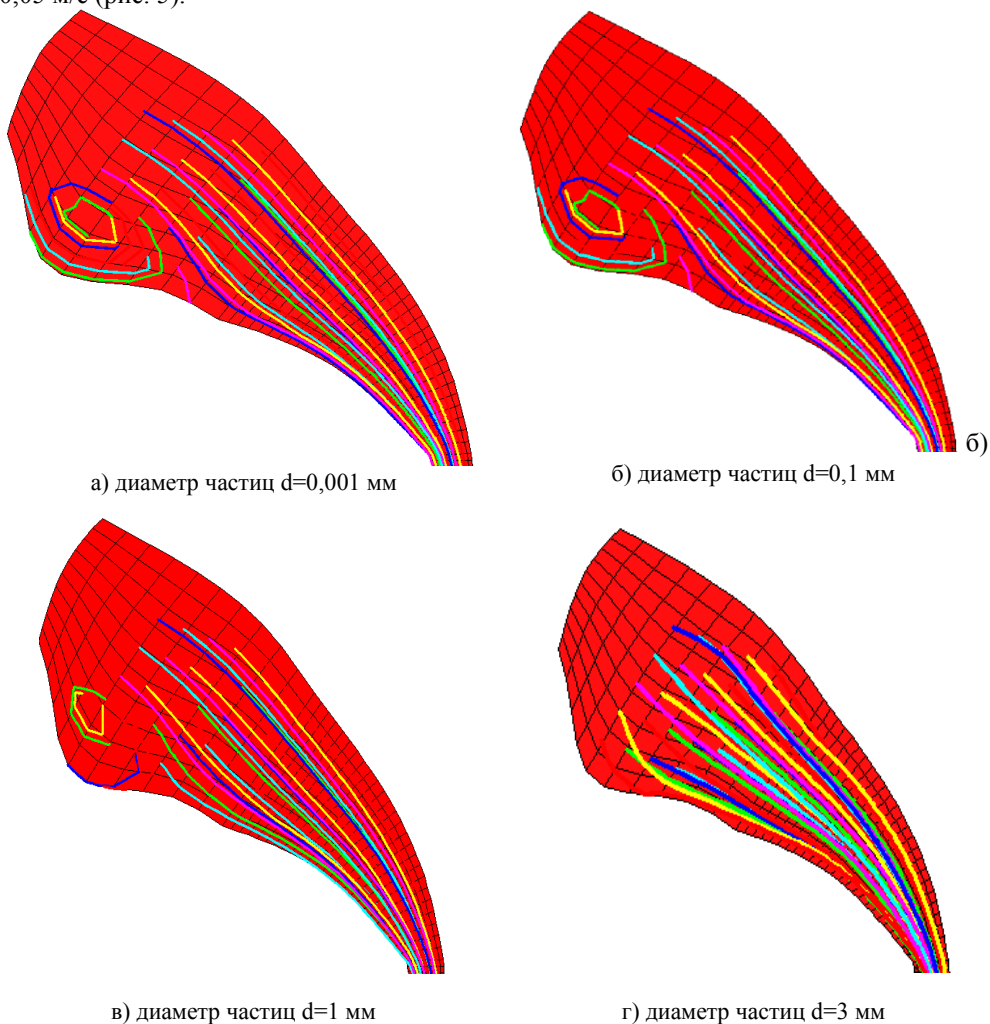


Рис. 5. Изменение траекторий движения частиц при различных диаметрах частиц

Как видно из рис. 5, частицы выносятся за пределы затона в общее русло реки в правобережной зоне, начиная с диаметра частиц от 0,1 мм. Таким образом, мелкие загрязняющие частицы диаметром до 0,1 мм в режиме самоочищения будут удалены потоком.

В речном потоке, как правило, присутствуют неконсервативные примеси, которые вступают в химические реакции как с водой, так и между собой.

Программный пакет позволяет:

- учитывать процесс взаимного перемешивания частиц вещества;
- моделировать зоны распространения вновь образующихся веществ, в соответствии с уравнениями химических реакций, заданных пользователем.

В результате выброса в реку двух солевых растворов (хлорид магния и сульфат алюминия) и попадания водозабора в область влияния продуктов реакции соли с потоком серной кислоты, на участке активизируются следующие химические реакции:

- при взаимодействии соли с водой, начинают в результате химических реакций образовываться гидроксиды и кислоты:

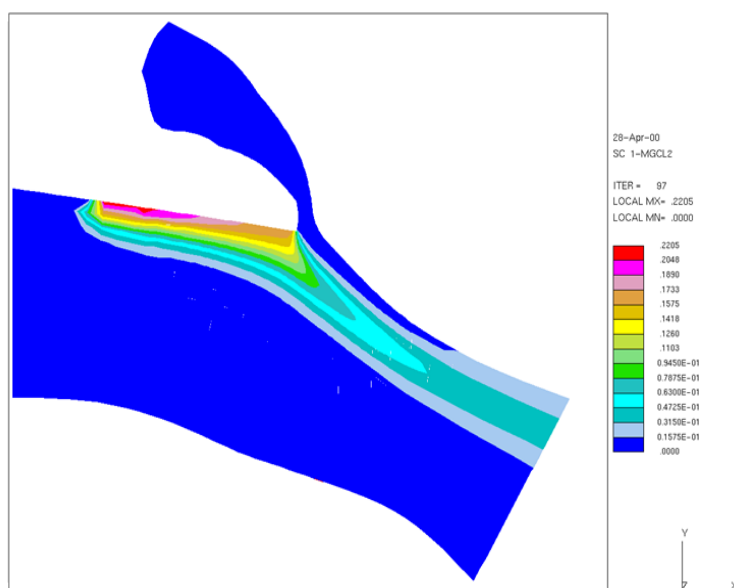


- при взаимодействии серной кислоты (образуется от взаимодействия соли с водой) с металлом (например, водозаборным сооружением) образуется сульфат железа и водород, что вызывает усиление коррозии этих сооружений:

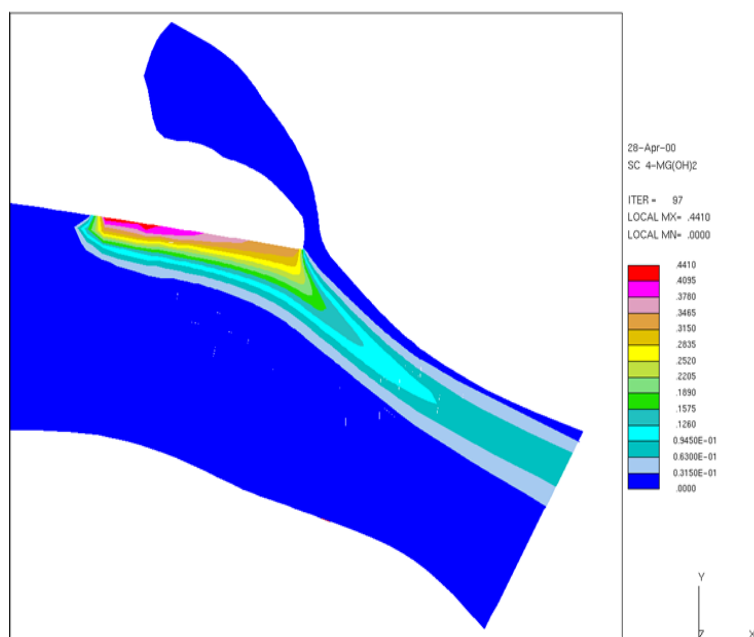


Пример распределения реагентов на участке показан на рис. 6.

В результате расчетов (рис.6) удалось выявить области концентрации отложений загрязнений, сформированные под действием гидродинамических особенностей речного потока, что позволит в дальнейшем предложить оптимальную схему очистки как затона, так и участка реки с помощью земснарядов для оздоровления их экологии.



а) Распределение концентраций хлорида магния  $[\text{MgCl}_3]$



б) Распределение концентраций гидроксида магния [  $Mg(OH)_2$  ]

Рис. 6. Распространение реагентов, полученных от взаимодействия соли с водой

### Заключение

Таким образом, авторами в данной работе были получены следующие результаты:

- показана возможность применения программного продукта FlowVision для получения более полной картины распространения загрязнения при авариях сухогрузов на внутренних водных путях;
- выявлено влияние на распространение загрязнения таких факторов, как особенность речного русла, скорость течения, диаметр загрязняющих веществ, химические реакции при попадании груза в водную среду и близость к водозаборам.

Проведенный анализ может быть полезен при уточнении методики прогнозируемого экологического ущерба и при разработке защитных мероприятий для снижения размеров экологического вреда, что и будет являться предметом дальнейших исследований авторов.

### Список литературы

1. Батанина Е.А., Бородин А.Н., Домнина О.Л., Пластинин А.Е. Определение участков концентрации транспортных происшествий с участием судов в республике Татарстан, Морские интеллектуальные технологии. № 4 part 1, С. 161-168 (2020) doi: 10.37220/MIT.2020.50.4.022
2. Домнина О.Л., Пластинин А.Е., Батанина Е.А., Наумов В.С. Оценка риска возникновения транспортных происшествий на реках в границах республики Татарстан. Морские интеллектуальные технологии. 2019. №4-2 (46). С. 79-84.

3. Батанина Е.А., Домнина О.Л. Оценка возможного размера вреда при аварийных сбросах сыпучих грузов с судов// Морские интеллектуальные технологии. 2021. Т. 1. №3 (53). С. 192-199
4. Creber, D.J., Eldridge, L., Van Der Tak, C., Duursma, M. Review of international ship-source hazardous and noxious substances risk assessments. Proceedings - 42nd AMOP Technical Seminar on Environmental Contamination and Response, p. 227-245 (2019)
5. Gasparotti, C., Rusu, E. Methods for the risk assessment in maritime transportation in the black sea Basin. Journal of Environmental Protection and Ecology, 13(3 A), c. 1751-1759 (2012)
6. Creber, D.J. Koldenhof, Y. Frequency of spill model for area risk assessment of ship-source oil spills in Canadian waters, 40th AMOP Technical Seminar on Environmental Contamination and Response, c. 286-308 (2017)
7. Ebrahimi Baha; Ahmadi Salman; Chapi Kamran; Amjadi Hazhir  
Risk assessment of water resources pollution from transporting of oil hazardous materials (Sanandaj-Marivan road, Kurdistan Province, Iran), Environmental science and pollution research international, Volume 27 Issue 28, p.35814-35827 (2020) doi:10.1007/s11356-020-09886-8
8. Sajid Zaman; Khan Faisal; Veitch Brian Dynamic ecological risk modelling of hydrocarbon release scenarios in Arctic waters, Marine pollution bulletin, Volume 153. p.111001; (2020) doi:10.1016/j.marpolbul.2020.111001
9. Helle Inari; Makinen Jussi; Nevalainen Maisa; Afenyo Mawuli; Vanhatalo Jarno. Impacts of Oil Spills on Arctic Marine Ecosystems: A Quantitative and Probabilistic Risk Assessment Perspective, Environmental science & technology, Volume 54 Issue 4. p.2112-2121(2020) doi:10.1021/acs.est.9b07086
10. Liu Xin; Guo Mingxian; Wang Yebao; Yu Xiang; Guo Jie; Tang Cheng; Hu Xiaoke; Wang Chuanyuan; Li Baoquan Assessing pollution-related effects of oil spills from ships in the Chinese Bohai Sea. Marine pollution bulletin, Volume 110 Issue 1, p.194-202 (2016) doi:10.1016/j.marpolbul.2016.06.062
11. Yao Yu, Liming Chen, Wanying Zhu Evaluation model and management strategy for reducing pollution caused by ship collision in coastal waters, Ocean & Coastal Management, 16 November 2020, Volume 203 (Cover date: 1 April 2021), Article 105446, doi: 10.1016/j.ocecoaman.2020.105446
12. Aditya Rio Prabowo, Dong Myung Bae Environmental risk of maritime territory subjected to accidental phenomena: Correlation of oil spill and ship grounding in the Exxon Valdez's case, Results in Engineering, 18 September, Volume 4, Article 100035, (2019) doi: 10.1016/j.rineng.2019.100035
13. Matthias Grote, Nicole Mazurek, Carolin Gräbsch, Jana Zeilinger, Stéphane Le Floch, Dierk-Steffen Wahrendorf, Thomas Höfer, Dry bulk cargo shipping — An overlooked threat to the marine environment?, Marine Pollution Bulletin, Volume 110, Issue 1, 2016, Pages 511-519.
14. Бородин А.Н. Совершенствование тренажерной подготовки по ликвидации разливов нефти при эксплуатации судов на внутренних водных путях. Наука и устойчивое развитие общества. Наследие В.И. Вернадского. 2009. № 9. С. 259-260.
15. Пластинин А.Е. Оценка ожидаемого ущерба водным объектам при разливах нефти. Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. 2013. № 1 (20). С. 97-104.
16. Пластинин А.Е. Оценка загрязнения при разливе нефти на водную поверхность. Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. 2013. № 2. С. 129-135.
17. Решняк В.И Оценка уровня экологической опасности источников аварийных разливов нефти. Эксплуатация морского транспорта. 2020. № 4 (97). С. 72-76.
18. Приказ Минприроды России от 13.04.2009 N 87 (ред. от 26.08.2015) "Об утверждении Методики исчисления размера вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства" Зарегистрировано в Минюсте России 25.05.2009 N 13989)

19. Домнина О.Л. Оценка риска экологических последствий от транспортных происшествий с сухогрузными судами на примере Волжского бассейна// Морские интеллектуальные технологии. 2022. Т. 1. №1 (55).С.187-193
20. Липатов И.В., Пластинин А.Е. Оценка гидродинамических условий при ликвидации разливов нефти. Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. 2014. № 5 (27). С. 127-134.

#### References

1. Ekaterina A. Batanina, Alexey N. Borodin, Olga L. Domnina, Andrey E. Platinin, Determination of areas of concentration of transport accidents with the participation of ships in the Republic of Tatarstan, Marine intellectual technologies. № 4 part 1, С. 161-168 (2020) doi: 10.37220/MIT.2020.50.4.022
2. Olga L. Domnina, Andrey E. Platinin, Ekaterina A. Batanina, Viktor S. Naumov Risk assessment of transport accidents on rivers in the borders of the republic of Tatarstan. Marine intellectual technologies. 2019. №4-2 (46). С. 79-84.
3. Ekaterina A. Batanina, Olga L. Domnina Assessment of the possible amount of harm in case of emergency discharges of bulk cargo from ships// Marine intellectual technologies.. 2021. №3 part 1. pp. 192-199
4. Creber, D.J., Eldridge, L., Van Der Tak, C., Duursma, M. Review of international ship-source hazardous and noxious substances risk assessments. Proceedings - 42nd AMOP Technical Seminar on Environmental Contamination and Response, p. 227-245 (2019)
5. Gasparotti, C., Rusu, E. Methods for the risk assessment in maritime transportation in the black sea Basin. Journal of Environmental Protection and Ecology, 13(3 A), с. 1751-1759 (2012)
6. Creber, D.J. Koldenhof, Y. Frequency of spill model for area risk assessment of ship-source oil spills in Canadian waters, 40th AMOP Technical Seminar on Environmental Contamination and Response, с. 286-308 (2017)
7. Ebrahimi Baha; Ahmadi Salman; Chapi Kamran; Amjadi Hazhir Risk assessment of water resources pollution from transporting of oil hazardous materials (Sanandaj-Marivan road, Kurdistan Province, Iran), Environmental science and pollution research international, Volume 27 Issue 28, p.35814-35827 (2020) doi:10.1007/s11356-020-09886-8
8. Sajid Zaman; Khan Faisal; Veitch Brian Dynamic ecological risk modelling of hydrocarbon release scenarios in Arctic waters, Marine pollution bulletin, Volume 153. p.111001; (2020) doi:10.1016/j.marpolbul.2020.111001
9. Helle Inari; Makinen Jussi; Nevalainen Maisa; Afenyo Mawuli; Vanhatalo Jarno. Impacts of Oil Spills on Arctic Marine Ecosystems: A Quantitative and Probabilistic Risk Assessment Perspective, Environmental science & technology, Volume 54 Issue 4. p.2112-2121(2020) doi:10.1021/acs.est.9b07086
10. Liu Xin; Guo Mingxian; Wang Yebao; Yu Xiang; GuoJie; Tang Cheng; Hu Xiaoke; Wang Chuanyuan; Li Baoquan Assessing pollution-related effects of oil spills from ships in the Chinese Bohai Sea. Marine pollution bulletin, Volume 110 Issue 1, p.194-202 (2016) doi:10.1016/j.marpolbul.2016.06.062
11. Yao Yu, Liming Chen, Wanying Zhu Evaluation model and management strategy for reducing pollution caused by ship collision in coastal waters, Ocean & Coastal Management, 16 November 2020, Volume 203 (Cover date: 1 April 2021), Article 105446, doi: 10.1016/j.ocecoaman.2020.105446
12. Aditya Rio Prabowo, Dong Myung Bae Environmental risk of maritime territory subjected to accidental phenomena: Correlation of oil spill and ship grounding in the Exxon Valdez's case, Results in Engineering, 18 September, Volume 4, Article 100035, (2019) doi: 10.1016/j.rineng.2019.100035
13. Matthias Grote, Nicole Mazurek, Carolin Gräbsch, Jana Zeilinger, Stéphane Le Floch, Dierk-Steffen Währendorf, Thomas Höfer, Dry bulk cargo shipping — An overlooked threat to the marine environment?, Marine Pollution Bulletin, Volume 110, Issue 1, 2016, Pages 511-519.

14. Alexey N. Borodin N. Improving simulator training for oil spill response during the operation of ships on inland waterways. Science and sustainable development of society. Legacy of V.I. Vernadsky. 2009. No. 9. S. 259-260.
15. Andrey E. Plastinin, Estimation of the expected damage to water bodies in case of oil spills. Bulletin of the State University of the Sea and River Fleet. Admiral S.O. Makarov. 2013. No. 1 (20). pp. 97-104.
16. Andrey E. Plastinin Estimation of pollution in case of oil spill on the water surface. Bulletin of the State University of the Sea and River Fleet named after. Admiral S.O. Makarov. 2013. No. 2. S. 129-135.
17. Reshnyak V. And Assessment of the level of environmental hazard of sources of emergency oil spills. Operation of sea transport. 2020. No. 4 (97). pp. 72-76.
18. Prikaz Minprirody Rossii ot 13.04.2009 N 87 (red. ot 26.08.2015) "Ob utverzhdenii Metodiki ischisleniya razmera vreda, prichinnogo vodnym ob'ektam vsledstvie narusheniya vodnogo zakonodatel'stva" (Zaregistrovano v Minyuste Rossii 25.05.2009 N 13989)
19. Olga L. Domnina, Risk Assessment of Environmental Consequences from Transport Accidents with Dry Cargo Vessels on the Example of the Volga Basin. Marine intellectual technologies. 2022. № 1 (55) V.1. pp. 187-193.
20. Lipatov I.V, Plastinin A.E. Assessment of hydrodynamic conditions during oil spill response. Bulletin of the Admiral S.O. Makarov State University of Marine and River Fleet. 2014. № 5 (27). С. 127-134.

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

**Домнина Ольга Леонидовна**, кандидат технических наук, доцент, ученый секретарь, Волжский государственный университет водного транспорта, 603950, Н.Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: o-domnina@yandex.ru

**Olga L. Domnina**, Ph.D.(Eng), assistant professor, Scientific Secretary, Volga State University of Water Transport, Nesterovast., 5, N. Novgorod, 603950, Russian Federation, e-mail: o-domnina@yandex.ru

**Липатов Игорь Викторович**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры водных путей и гидросооружений, Волжский государственный университет водного транспорта, 603950, Н.Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: i\_lipatov@mail.ru

**Igor V. Lipatov**, Dr. Sci. (Eng), Professor, Professor of the Department of Waterways and Hydraulic Structures, Volga State University of Water Transport, 603950, N. Novgorod, Nesterova str., 5, e-mail: i\_lipatov@mail.ru

Статья поступила в редакцию 20.04.2022; опубликована онлайн 07.06.2022.  
Received 20.04.2022; published online 07.06.2022.