

## О необходимости проведения трассерных экспериментов при разработке ситуационных моделей для планов мероприятий по предупреждению и ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов на больших реках

*Николай Дмитриевич Разиньков*<sup>1</sup>  
*Николай Александрович Кошель*<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия,  
<https://orcid.org/0000-0001-8637-1029>

<sup>2</sup>Главное управление МЧС России по Воронежской области, Воронеж, Россия

Автор ответственный за переписку: Николай Дмитриевич Разиньков, [razinkov.nikolaj@mail.ru](mailto:razinkov.nikolaj@mail.ru)

**Аннотация.** Моделирование потока в реке является сложной физической и математической задачей. При прогнозировании перемещения пятна загрязнения по большой реке необходимо использовать трёхмерные математические модели, что требует большого массива исходных данных. Практика разработки и применения планирующих документов по локализации и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на реках показывает, что математическое моделирование перемещения пятна нефтепродукта по большой реке не является успешным, поэтому требуется проведение трассерных экспериментов для планирования данного вида мероприятий.

**Ключевые слова:** скорость течения, пятно загрязнения, контрольный створ, трассерный эксперимент

**Для цитирования:** Разиньков Н.Д., Кошель А.Н. О необходимости проведения трассерных экспериментов при разработке ситуационных моделей для планов мероприятий по предупреждению и ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов на больших реках // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2024. № 1 (32) С. 31-37. <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.97.88.004>

Original article

## On the necessity of conducting tracer experiments in the development of situational models for action plans for the prevention and elimination of emergency oil and petroleum product spills on large rivers

*Nikolay D. Razinkov*<sup>1</sup>  
*Nikolay A. Koshel*<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia  
<https://orcid.org/0000-0001-8637-1029>

<sup>2</sup> The Main Directorate EMERCOM of Russia in the Voronezh region, Voronezh, Russia

Corresponding author: Nikolay D. Razinkov, [razinkov.nikolaj@mail.ru](mailto:razinkov.nikolaj@mail.ru)

**Abstract.** Modeling the flow in a river is a complex physical and mathematical task. When predicting the movement of a pollution spot along a large river, it is necessary to use three-dimensional mathematical models, which requires a large array of initial data. The practice of developing and applying planning documents for the localization and elimination of oil and petroleum product spills on rivers shows that mathematical modeling

of the movement of a spot of petroleum product along a large river is not successful, therefore, tracer experiments are required to plan this type of measures.

**Keywords:** flow velocity, pollution spot, control gate, tracer experiment.

**For citation:** Razinkov N.D., Koshel N.A. On the necessity of conducting tracer experiments in the development of situational models for action plans for the prevention and elimination of emergency oil and petroleum product spills on large rivers // Siberian Fire and Rescue Bulletin. 2024. № 1 (32) P. 31-37. <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.97.88.004>

Проблема прогнозирования распространения загрязнения по реке является сложным мероприятием ввиду своей многофакторности и значительной природной неопределённости происходящих гидрологических процессов на большой реке [1, 2].

Широко известные попытки спрогнозировать перемещения и концентрации загрязнений в критических створах на реке были неудачными, о чём свидетельства этому обычно в официальных отчётах «затушёвываются» или вовсе не указываются.

Таковыми попытками прогнозирования распространения пятен загрязнений по рекам были:

Во время сброса около 100 т бензола в р. Сунгари при аварии на химическом заводе в 2005 г. в Китае, которая впадает в Амур; неудачность прогноза заключалась во времени прихода загрязнения и концентрации – концентрация в реке не превышала предельно допустимой;

Фактическая неудача по прогнозированию распространения загрязнения нефтепродуктами при аварии на одной из емкостей хранения дизтоплива ТЭЦ-3 ОАО «Норильско-Таймырская энергетическая компания». На топливном складе при разрушении ёмкости с 21 тыс. т дизтоплива в реку Амбарная поступило по имеющимся оценкам около 15 тыс. т нефтепродукта. Оценочные данные не подтверждались космонимками и натурными наблюдениями особенно при прогнозировании продвижения загрязнения нефтепродукта к устью реки [3]. Прогнозирование продвижения по реке осуществлялось группой специалистов из Государственного океанографического института имени Н.Н. Зубова (г. Москва) и НМЦ «ИНФОРМАТИКА РИСКА», путём использования программно-аналитического модуля «SPILLMOD», разработанного в институте.

В Воронежской области реку Дон пересекает магистральный нефтепродуктопровод «Воронеж-Белгород» основная/резервная нитка 24 км через р. Дон (далее – подводный МНПП) Мичуринского РУ АО «Транснефть-Дружба» (Рис. 1).

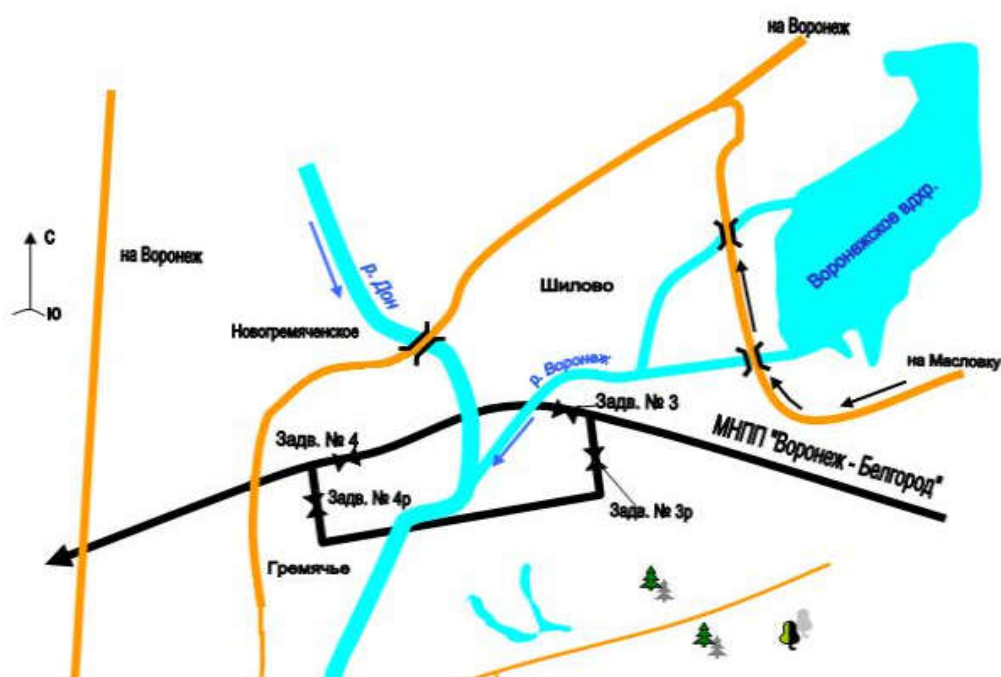


Рис. 1 – Схема перехода через реку Дон МНПП «Воронеж-Белгород» в районе с. Гремяче Хохольского района Воронежской области.

В 2017 г. АО «Транснефть-Дружба» разработало специализированный План по предупреждению и ликвидации разливов нефти/нефтепродуктов на переходах магистральных нефтепроводов/нефтепродуктопроводов через водные преграды Мичуринского РУ (далее – План). В основе разработанных мероприятий по локализации и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов в качестве исходных данных используется скорость Дона для различных фаз водного режима (для рассматриваемого участка МНПП): межень, половодье 10 % и 1 % обеспеченности половодья.

Расчётные скорости потока воды в реке принимаются для половодья по результатам математического моделирования. Рубежи локализации (защиты) назначаются:

1 рубеж – непосредственно вблизи МНПП ниже рассчитанной зоны всплытия нефтепродукта;

2 рубеж (основной) – через 4 часа после обнаружения нефтяной плёнки на поверхности реки при соответствующей фазе водного потока в реке;

3 рубеж (контрольный) – проводится контроль загрязнения нефтепродуктами в контрольном створе реки; в случае обнаружения нефтепродуктов выставляется дополнительное боновое ограждение. В зимнее время дополнительное боновое ограждение не выставляется.

По результатам проведённого моделирования установлены следующие расчётные показатели скорости распространения на Дону пятна загрязнения нефтепродуктом (таблица) в районе с. Гремяче Хохольского района Воронежской области.

Оценивая представленные расчётные данные, так называемой «математической модели перемещения пятна загрязнения», явно видны значительные расхождения с гидрологическими данными по рассматриваемому участку р. Дон: перемещение пятна загрязнения в межень в 2,3 раза больше чем средняя скорость реки в межень на этом участке [4].

Для принятия решений на большой реке явно недостаточно и неправильно пользоваться усреднёнными данными: в зависимости от места выхода нефтепродукта относительно стрежени реки скорость в водотоке существенно различается по ширине, по направлению и по модулю продольной скорости, тем более на излучине (Рис. 2), где возникают прижимные скорости [5, 6]. Эти гидрологические особенности для мест выставления боновых ограждений в Плате также не учитываются. Очевидно, целесообразно выставлять рубеж защиты №2 после излучины (Рис. 3), когда аварийно «разлившийся» нефтепродукт прижимается к берегу на излучине, что будет облегчать ликвидацию загрязнения на реке.

**Табл. Навигационно-гидрологический режим р. Дон в районе прогнозируемой аварии на МНПП в месте перехода через реку**

№ п/п	Участок МНПП, Рубеж №	Максимальная толщина льда, м	Скорость распространения пятна*, м/с			Ширина водной преграды*, м/с		Максимальная глубина*, м	
			Половодье (русло/пойма)	Летняя	Ледостав	Половодье (русло/пойма)	Летняя	Половодье (русло/пойма)	Летняя межень, ледостав
1	МНПП Рубеж №1	0,4	0,4/0,2	0,2	0,1	80/3000**	70	10,7/3,2	3,7/1,8
2	Рубеж №2 ледостав	0,4	-	-	0,1	-	130	-	1,9
3	Рубеж №2 межень	-	-	0,8	-	-	132	-	4,4
4	Рубеж №3 межень	-	-	0,8	-	-	130	-	3,5
5	Рубеж №2 половодье	-	1,1/0,3	-	-	120/4300***	-	11,9/2,5	-
6	Рубеж №3 половодье	-	1,2/0,2	-	-	130/2500***	-	11,9/3,5	-

\* – установлено разработчиком Плана на основании имеющегося программного модуля, так называемого математического моделирования;

\*\* – ширина пятна нефтепродукта в районе рубежа №1 по результатам математического моделирования разлива нефтепродукта не превышает 30 м;

\*\*\* – ширина пятна нефтепродукта в районе рубежей №2 и №3 по результатам математического моделирования разлива нефтепродукта не превышает 100 м.

Используемая математическая модель не учитывает ни происходящего испарения нефтепродукта, ни эффекта самоочищения реки, ни предпринимаемых мер по локализации загрязнения.

Как представляется, во время систематически проводимых учений на рассматриваемом МНПП переходе через Дон целесообразно провести так называемый трассерный эксперимент [7, 8, 9] – это индикаторные исследования перемещения реальных вводимых жидкостных красителей близких по своим физическим свойствам к реальному нефтепродукту (в рассматриваемом случае – дизельное топливо) в месте предполагаемой аварии на дне реки.

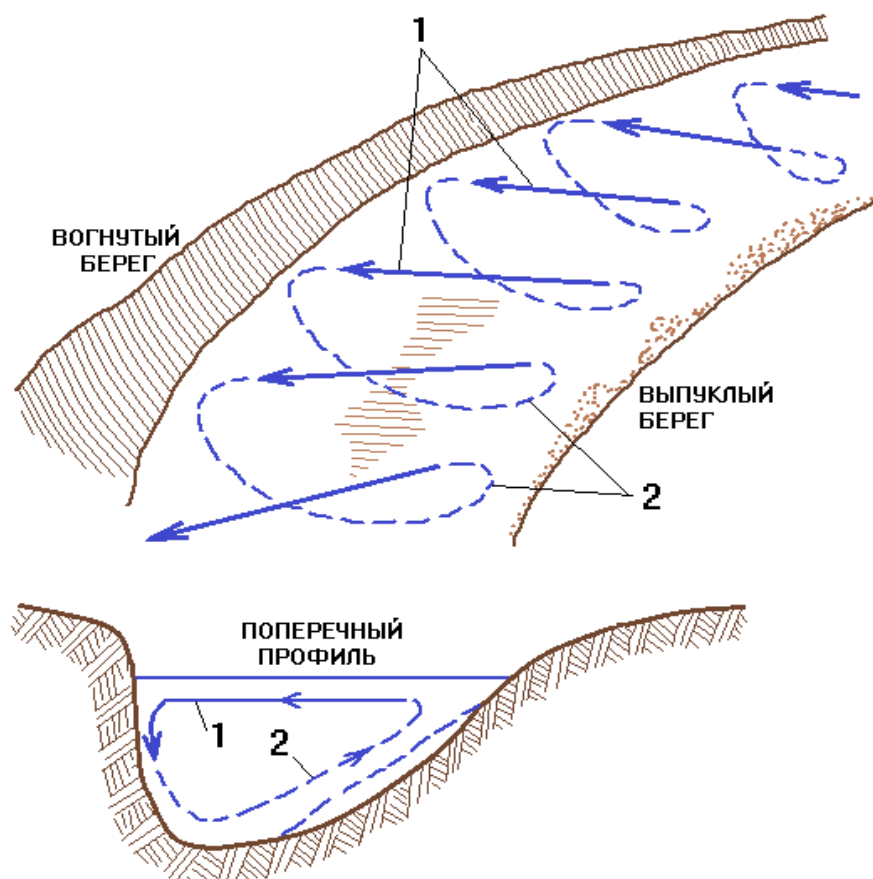


Рис. 2 – Своеобразие течения реки на излучине русла: 1 – поверхностное направление течения – прижимное течение; 2 – течение на глубине реки у дна – донное течение.

Перед экспериментом необходимо тщательно подготовиться:

- а) провести тщательную рекогносцировку на участке реки в месте прохождения МНПП;
- б) установить на створе перехода МНПП через Дон скорости реки по створу и вертикалям, в том числе на предполагаемом аварийном участке, согласно установленных правил измерения Росгидрометом [10, 11];
- в) аналогично провести промеры скоростей реки на контрольных створах;
- г) составить схемы отбора проб на контрольных створах при проведении трассерного эксперимента;

д) установить мешающие условия для установления истинных концентраций трассера в точках отбора проб (наличие водорослей, мешающих предметов и пр.);

е) провести ориентировочные расчёты по определению ожидаемых концентраций трассера в контрольных точках, что поможет определиться с массой пуска трассера во время эксперимента, т.е. концентрация трассера в контрольных точках должна быть достаточной для надёжной её количественной оценки в условиях разбавления в реке на значительном удалении от предполагаемого места аварии.

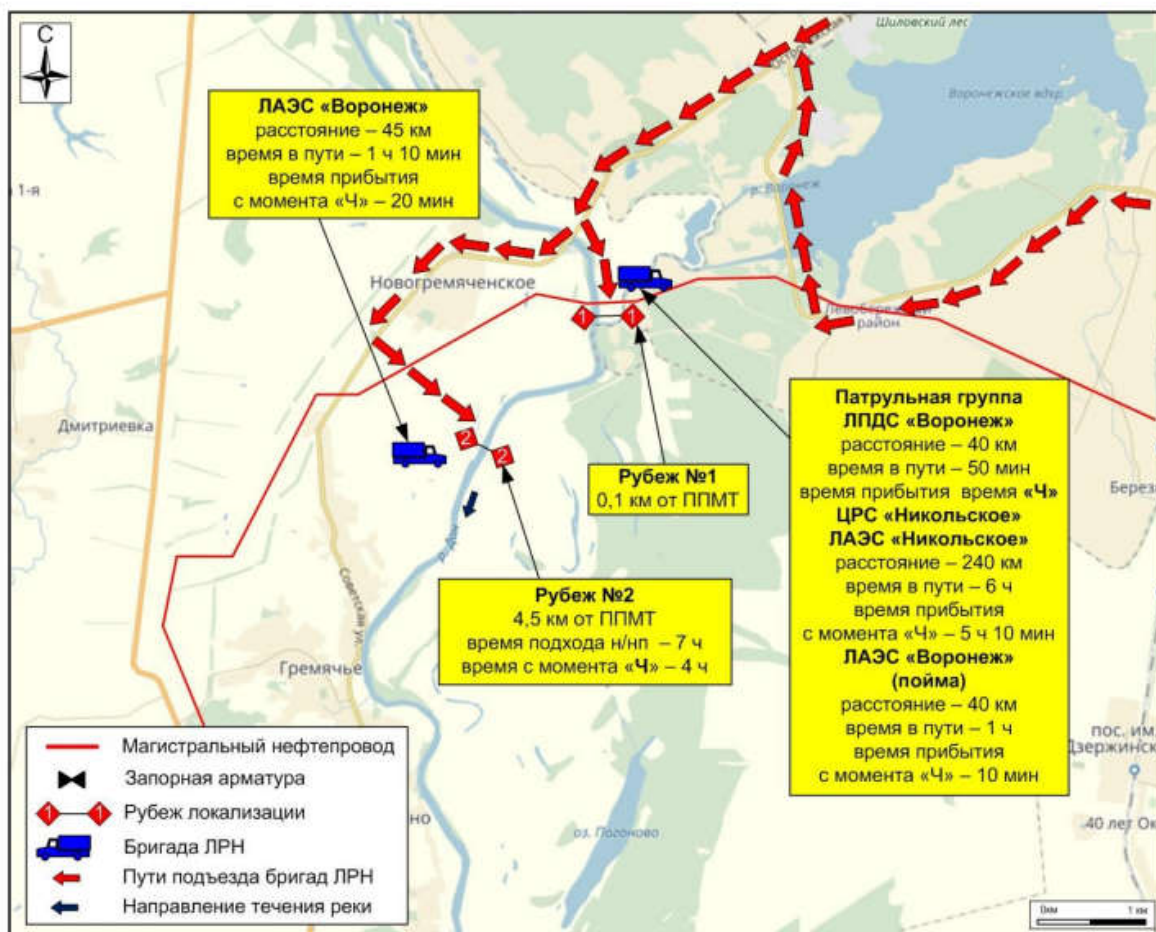


Рис. 3 – Схема размещения рубежей локализации пятна загрязнения Дона нефтепродуктом при аварии МНПП «Воронеж-Белгород» в районе с. Гремячье Хохольского района Воронежской области

Для проведения трассерного эксперимента необходимо использовать искусственные жидкостные маркеры, обладающие следующими свойствами:

- должны быть безопасными для людей, водных объектов и их обитателей-гидробионтов;
- обладать соответствующей устойчивостью в течение продолжительного времени, надёжно определяться при фоновых загрязнениях реки;
- обеспечивать своё определение при весьма малых концентрациях;
- не приводить к ухудшению качества воды в реке;
- стоимость трассера должна быть невысокой.

Данным свойствам вполне отвечают маркеры на основе инертных материалов, которые разработаны Гидрохимическим институтом Росгидромета, определяются при кратности разбавления до  $10^{13}$  [8].

Трассерные эксперименты моделирования аварийных выбросов нефтепродуктов на реках позволят приблизиться к реальным, что позволит решить следующие задачи прогнозирования:

- оконтурировать зоны возможного загрязнения на реке;
- получить характеристики загрязнений в створах выставления рубежей локализации;

- построить реальный временной график прохождения загрязнения по реке;
- выбрать оптимальные места выставления боновых заграждений с учётом морфологии поймы реки, возможности развёртывания оборудования по локализации и ликвидации разлива нефтепродукта на реке.

### Список источников

1. Фёдоров С.В., Кудрявцев А.В. Методы прогнозирования качества воды: Учебное пособие. – СПб.: Издательство «Лань», 2022. – 96 с.
2. Железняков Г.В. Гидрология и гидрометрия: Учебник для студентов дорожно-строительных высших учебных заведений. – М.: Высшая школа, 1981. – 264 с.
3. Математическое моделирование распространения разлива дизельного топлива из резервуара хранения резервного топлива ТЭЦ-3 ОАО «НТЭК» 29 мая 2020 г. – записка-отчёт Государственного океанографического института имени Н.Н. Зубова и НМЦ «ИНФОРМАТИКА РИСКА»: М., ГОИН, 2020. – 19 с. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ru.readkong.com/page/matematiceskoe-modelirovanie-rasprostraneniya-razliva-8333269/>.
4. Курдов А.Г. Реки Воронежской области (водный режим и охрана). – Воронеж: Изд-во ВГУ, 1984. – 164 с.
5. Константинов Н.М. Гидравлика, гидрология, гидрометрия: Учебное пособие: Часть II. Специальные вопросы. М.: Высшая школа, 1987. – 431 с.
6. Воробьёв Ю.Л. Предупреждение и ликвидация аварийных разливов нефти и нефтепродуктов / Ю.Л. Воробьёв, В.А. Акимов, Ю.И. Соколов. – М.: Ин-октаво, 2005. – 368 с.
7. Наумов В.С., Пластинин А.Е. Прогнозирование и анализ экологических последствий разливов нефти на водных объектах : монография / В.С. Наумов, А.Е. Пластинин. – Нижний Новгород: ВГУВТ, 2021. – 400 с.
8. Р 52.24.627-2001 Рекомендации. «Методы прогностических расчётов распространения по речной сети зон высокозагрязнённых вод и использования для прогнозов трассерных экспериментов, имитирующих аварийные ситуации», утверждены Федеральной службой России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды 31.10.2001. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200036907?ysclid=lotzm8ns7a107790030/>.
9. Р 52.24.627-2007 Рекомендации. Усовершенствованные методы прогностических расчётов распространения по речной сети зон высокозагрязнённых вод с учётом форм миграции наиболее опасных загрязняющих веществ. – М.: Росгидромет, ФГБУ «ГХИ», Ростов-на-Дону. – 2008. – 172 с. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293823/4293823843.pdf?ysclid=lpdw5xxacg401463738>.
10. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Выпуск 2. Часть II. Гидрологические наблюдения на постах. Утверждено Главным управлением гидрометеорологической службы при Совете Министров СССР 01.11.1973. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200108241?ysclid=lotzo5bgs6814273077/>.
11. Р 52.24.855-2016 Рекомендации. Прогнозирование распространения аварийного загрязнения в водотоках для последующего использования в оперативном мониторинге. – М.: Росгидромет, ФГБУ «ГХИ», Ростов-на-Дону. – 29 с. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293745/4293745813.pdf?ysclid=lpdvvu5u5zu780762748>.

### References

1. Fedorov S.V., Kudryavtsev A.V. Methods of forecasting water quality: Textbook. – St. Petersburg: Publishing House "Lan", 2022. – 96 p.
2. Zheleznyakov G.V. Hydrology and hydrometry: Textbook for students of road construction higher educational institutions. – M.: Higher School, 1981. – 264 p.
3. Mathematical modeling of the spread of a diesel fuel spill from the storage tank of the reserve fuel of the CHP-3 of JSC "NTEK" on May 29, 2020 – note-report of the N.N. Zubov State Oceanographic Institute



and the NMC "INFORMATICS OF RISK": M., GOIN, 2020. – 19 p. [Electronic resource] – Access mode: <https://ru.readkong.com/page/matematiceskoe-modelirovanie-rasprostraneniya-razliva-8333269/>.

4. Kurdov A.G. Rivers of the Voronezh region (water regime and protection). – Voronezh: VSU Publishing House, 1984. – 164 p.

5. Konstantinov N.M. Hydraulics, hydrology, hydrometry: Textbook: Part II. Special questions. Moscow: Higher School, 1987. - 431 p.

6. Vorobyov Yu.L. Prevention and liquidation of emergency oil and petroleum product spills / Yu.L. Vorobyov, V.A. Akimov, Yu.I. Sokolov. – M.: In-octavo, 2005. – 368 p.

7. Naumov V.S., Plastinin A.E. Forecasting and analysis of environmental consequences of oil spills on water bodies : monograph / V.S. Naumov, A.E. Plastinin. – Nizhny Novgorod: VGUVT, 2021. – 400 p.

8. R 52.24.627-2001 Recommendations "Methods of predictive calculations of the spread of highly polluted water zones along the river network and use for forecasts of tracer experiments simulating emergency situations", approved by the Federal Service of Russia for Hydrometeorology and Environmental Monitoring 31.10.2001. [Electronic resource] – Access mode: <https://docs.cntd.ru/document/1200036907?ysclid=lotzm8ns7a107790030/>.

9. R 52.24.627-2007 Recommendations. Improved methods of predictive calculations of the distribution of highly polluted water zones along the river network, taking into account the forms of migration of the most dangerous pollutants. – Moscow: Roshydromet, FGBI "GHI", Rostov-on-Don. - 2008. – 172 p. [Electronic resource] – Access mode: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293823/4293823843.pdf?ysclid=lpdw5xxacg401463738>.

10. Instruction to hydrometeorological stations and posts. Issue 2. Part II. Hydrological observations at the posts. Approved by the Main Directorate of the Hydrometeorological Service under the Council of Ministers of the USSR on 01.11.1973. [Electronic resource] – Access mode: <https://docs.cntd.ru/document/1200108241?ysclid=lotzo5bgs6814273077/>.

11. R 52.24.855-2016 Recommendations. Forecasting the spread of accidental pollution in watercourses for subsequent use in operational monitoring. – Moscow: Roshydromet, FGBI "GHI", Rostov-on-Don. – 29 p. [Electronic resource] – Access mode: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293745/4293745813.pdf?ysclid=lpdvu5u5zu780762748>.

#### Информация об авторах

Н.Д. Разиньков – кандидат географических наук

Information about the author

N.D. Razinkov – Ph.D. of Geographical Sciences

**Вклад авторов:** все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Contribution of the authors:** the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 26.11.2023; одобрена после рецензирования 27.11.2023; принята к публикации 20.03.2024.

The article was submitted 26.11.2023, approved after reviewing 27.11.2023, accepted for publication 20.03.2024.