

ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ЗОН ВНУТРЕННИХ ВОДНЫХ ПУТЕЙ НЕФТЬЮ И НЕФТЕПРОДУКТАМИ

ASSESSMENT OF THE PROBABILITY OF POLLUTION OF ENVIRONMENTALLY SENSITIVE AREAS INTERNAL WATERWAYS OIL AND OIL PRODUCTS

В статье выполнена оценка вероятности возникновения загрязнения нефтью зон экологически чувствительных районов (водозаборных сооружений и особо охраняемых природных территорий). В частности, рассматривается участок реки Верхней Волги в пределах Нижегородской области, на котором располагается 13 водозаборных сооружений и 10 особо охраняемых природных территорий, нуждающихся в охране санитарно-защитных зон. В данной работе выполнен расчет вероятности загрязнения для каждого из этих объектов. Для определения достижения разлива нефти зон санитарной защиты чувствительных районов проведено моделирование сценариев разливов нефти, в ходе которых определены коэффициенты достижения зон разливов. Определена максимальная вероятность загрязнения чувствительных зон и построены диаграммы, по результатам которых выявлены уровни риска влияния на окружающую среду и население.

In article evaluated assessment of probability of emergence of pollution is carried out by oil of zones of ecologically sensitive areas (water intake works and especially protected natural territories). In particular the site of the Upper Volga River within the Nizhny Novgorod Region is considered, which is 13 water intake works and 10 especially protected natural territories needing protection sanitary protective zones. In this work calculation of probability of pollution for each of these objects is made. For definition of achievement of oil spill of zones of sanitary protection of sensitive areas were carried out modeling of scenarios of oil spills during which coefficients of achievement of zones are defined by floods. The maximum probability of pollution of sensitive zones is defined and charts, by results which risk levels of influence on environment and the population are revealed are constructed.

Ключевые слова: разлив нефти, нефтяное загрязнение, водозаборные сооружения, аварии судов, особо охраняемая природная территория, чувствительные районы.

Key words: oil spills, oil pollution, water intake works, accidents of ships, specially protected natural territories, sensitive areas.

Введение

Аварии транспортных судов на внутренних водных путях происходят достаточно часто из-за ошибок командного состава, невыполнения требований безопасности судоходства, неудовлетворительного состояния водного пути, а также неблагоприятных погодных условий (шторм, туман и др.). Каждая авария может привести к аварийному разливу нефти и нефтепродуктов в реку. При разливах нефти происходит интенсивное загрязнение окружающей среды. Наиболее важными объектами экологической защиты, подвергающимися влиянию разливов, являются экологически чувствительные районы, а именно водозаборные сооружения (ВЗ) и особо охраняемые природные территории (ООПТ). Загрязнение нефтью этих районов может привести к истощению питьевых ресурсов, исчезновению мест обитания рыб, загрязнению среды обитания птиц и животных. В данной работе решается задача оценки уровня риска загрязнения нефтью экологически чувствительных районов при транспортных происшествиях судов. Для оценки уровня риска выполнен расчет вероятности загрязнения нефтью в акватории реки Волги в пределах Нижегородской области, где располагается тринадцать водозаборных сооружений и десять особо охраняемых природных территорий [1].

Основная часть

Для расчета вероятности возникновения загрязнения нефтью и нефтепродуктами экологически чувствительной зоны, согласно теореме умножения вероятностей, формула примет вид [2]:

$$P_{\text{загр}} = P_{\text{ТП}} \cdot P_{\text{ТП тип}} \cdot P_{\text{ТП разл}} \cdot P_{\text{сцен}}, \quad (1)$$

где $P_{\text{ТП}}$ — вероятность возникновения транспортного происшествия (ТП); $P_{\text{ТП тип}}$ — вероятность того, что в транспортном происшествии участвует судно определенного типа; $P_{\text{ТП разл}}$ — вероятность возникновения разлива нефти при транспортном происшествии; $P_{\text{сцен}}$ — вероятность реализации сценария загрязнения нефтью и нефтепродуктами в очаге аварийности.

Вероятность возникновения транспортного происшествия находим по формуле

$$P_{\text{ТП}} = \frac{(\lambda T)^m}{m!} e^{-\lambda T}, \quad (2)$$

где T — период, в течение которого необходимо рассчитать вероятность возникновения транспортного происшествия (принимая равным 1 год); m — количество событий за данный интервал времени T (так как возникновение события транспортного происшествия на участке реки маловероятно, принимаем $m = 1$); λ — средняя интенсивность потока аварий на выбранном участке реки, которую легко вычислить для некоторой совокупности объектов, если известна статистика транспортных происшествий за достаточно длительный промежуток времени, используя следующую формулу:

$$\lambda = \frac{n}{t}, \quad (3)$$

где $t = 30$ лет — период рассмотрения (1980 – 2010 гг.); n — число транспортных происшествий на участке реки за период рассмотрения.

Так как объемы и процессы распространения нефти при моделировании сценариев разлива зависят от типа судна, была рассчитана вероятность того, что в транспортном происшествии участвует судно определенного типа: наливного или неналивного. Эта вероятность на реке Волге, на основе статистических данных по аварийности, была определена по формуле

$$P_{\text{ТП тип}} = \frac{n}{N}, \quad (4)$$

где n — количество транспортных происшествий с данным типом судов на реке; N — общее количество транспортных происшествий на реке.

Для оценки вероятности разлива нефти или нефтепродуктов при транспортном происшествии $P_{\text{ТП разл}}$ использованы статистические данные, базирующиеся на статистике ИМО [3], согласно которой частота аварий составляет для морей с интенсивным судоходством: 5,4 на 106 миль — при посадке на мель; 1,9 на 106 миль — при столкновении; 0,48 на 106 миль — при повреждении конструкции; 0,063 на 106 миль — при пожаре, взрыве. Исходя из того, что на реках применяют танкеры с двойной конструкцией корпуса, в расчетах используются статистические данные по разливу нефти для двухкорпусных танкеров.

Вероятность разлива нефти при авариях однокорпусных и двухкорпусных танкеров приведена в табл. 1.

Таблица 1

Вероятность разлива нефти при авариях двухкорпусных танкеров

$P_{\text{разл / авар}}$	$P_{\text{разл}} > 100 \text{ т}$	$P_{\text{разл}} = 50 — 100 \text{ т}$
Посадка на мель	0,03	0,09
Столкновения	0,03	0,09
Повреждение конструктивных элементов	0,05	0,09
Пожар, взрыв	0,1	0,09

Вероятность реализации сценария при разливе нефти и нефтепродуктов определялась в соответствии с теоремой умножения вероятностей совместного появления нескольких событий по формуле

$$P_{\text{сцен}} = P_{\text{гидр.реж}} \cdot P_{\text{н/п}} \cdot \omega_{n,j,k} \cdot k. \quad (5)$$

Здесь $P_{\text{гидр.реж}}$ — вероятность появления гидрологического режима реки (в работе рассматривается только режим межени); $\omega_{n,j,k}$ — среднегодовая совместная повторяемость или совместная вероятность скорости и направления ветра, рассчитанная исходя из данных Гидрометцентра; k — коэффициент, который определяется из условия достижения разлива нефти зоны ВЗ или ООПТ. Если разлив достиг зоны, то $k = 1$, если не достиг, то $k = 0$.

Вероятность появления гидрологического режима реки $P_{\text{гидр.реж}}$ определялась с учетом аварийности судов на реке Волге за период 1980 – 2010 гг. по формуле

$$P_{\text{гидр.реж}} = \frac{n_{\text{гидр.реж}}}{N}, \quad (6)$$

где $n_{\text{гидр.реж}}$ — количество транспортных происшествий на реке в межень; N — общее количество транспортных происшествий на реке; $P_{\text{н/п}}$ — вероятность появления данного вида нефтепродукта (мазут или дизельное топливо).

Для нефтеналивных судов появление разлива мазута или дизельного топлива принималось в качестве равновероятного события, поэтому вероятность появления нефтепродукта $P_{\text{н/п}} = 0,5$. Для неналивных судов возможен только разлив дизельного топлива, поэтому вероятность появления нефтепродукта $P_{\text{н/п}} = 1$.

Для определения достижения разлива нефти зон санитарной защиты чувствительных районов использован программно-аппаратный комплекс PISCES II «Система моделирования и анализа аварий, связанных с загрязнением окружающей среды», установленный в учебно-тренажерном центре по управлению кризисными ситуациями ВГАБТ [4], [5]. На этом комплексе проведено моделирование сценариев разливов нефти (рис. 1), в ходе которого задавались исходные данные об источнике разлива (место, тип нефтепродукта, объем и вид разлива) и характеристики погодных условий (скорость ветра, скорость течения, волнение), характерные для данного участка реки. При выполнении данной работы использовалась точечная модель разлива — задавались масса нефти и координаты разлива, а также подробный уровень детализации, учитывающий процессы, происходящие в нефтяном пятне, и процессы его взаимодействия с окружающей средой.

При моделировании был учтен гидрологический режим межени, рассмотрены два типа нефтепродукта: мазут и дизельное топливо, и приняты скорость ветра, температура воды, температура воздуха в двух значениях: наиболее вероятные и максимально возможные [6], [7]. Высота волны для водоема разряда «Р» принималась равной 0 м (совместно с наиболее вероятной скоростью ветра) и 1,2 м (совместно с максимально возможной скоростью ветра). Отдельно рассматривались разливы от наливных судов и судов, относящихся к другим видам флота (неналивные суда), поскольку тип судна определяет объем разлива. Максимально возможный разлив для наливного судна определяется 50 %-й максимальной грузоподъемностью наливного судна на реке Волге — 320 м³ или 275 т (при плотности топлива 0,86) и 304 т (при плотности топлива 0,95). Максимально возможный разлив нефтепродуктов для судов других видов флота для условий межени на реке Волге принимается по наибольшему запасу топлива и смазки у неналивных теплоходов на реке Волге — 108,5 т.

Дальнейшее комбинирование исходных данных позволило выделить группы сценариев. Количество сценариев в группе принималось равным восьми (количество рассмотренных направлений ветра). Необходимость расчета параметров нефтяного загрязнения для такого количества направлений ветра вызвана значительными трудностями априорного определения наиболее опасного ветра с точки зрения распространения нефтяных полей, что обусловлено большой извилистостью реки Волги.

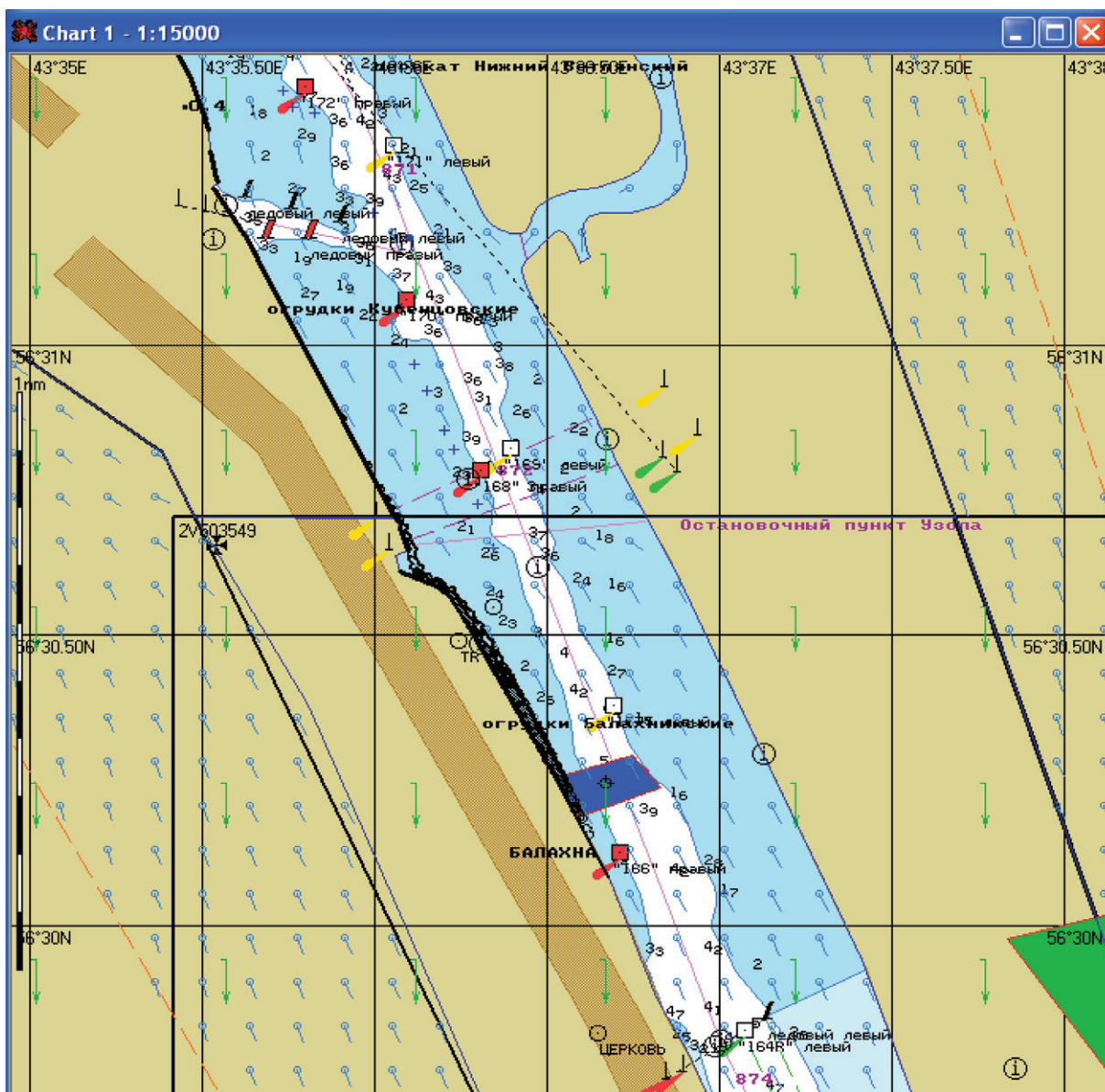


Рис. 1. Результаты моделирования загрязнения нефтью водозаборного сооружения 873 км реки Волги (синим цветом отмечен первый круг зоны санитарной защиты водозабора)

Моделирование разливов нефти было выполнено от семи источников — очагов аварийности, которые определялись в результате статистического анализа транспортных происшествий, произошедших в Волжском бассейне за период 1980 – 2010 гг. [8], [9]. Выбор чувствительных районов из общего списка для проведения моделирования разливов нефти обусловлен близостью их расположения к очагам аварийности [1]. Всего было выбрано шесть ВЗ и четыре ООПТ. Таким образом, общее количество смоделированных сценариев в условиях межени на реке Волга составляет 336 сценариев

В качестве примера приведена таблица расчета с максимальными полученными вероятностями возникновения загрязнения нефтью и нефтепродуктами — зоны ВЗ (912 км) при аварии нефтеналивного судна в очаге аварийности 911,7 км и зоны ООПТ (874 – 899 км) при аварии неналивного судна в очаге аварийности 875,5 км (табл. 2). Также была рассчитана вероятность возникновения загрязнения нефтью и нефтепродуктами от очагов аварийности зоны ВЗ на 812,5 км, 873 км, 894 км, 899 км, 910 км, 912 км и зон ООПТ на 820 – 824,5 км, 861 – 867 км, 874 – 899 км, 956 – 962 км реки Волги [1].

Таблица 2

**Вероятность возникновения загрязнения нефтью и нефтепродуктами
при аварии неналивного судна**

Вероятность возникновения ТП $P_{ТП}$, 1/год	Вероятность, что в ТП участвует судно определенного типа $P_{ТП(тип)}$	Вероятность возникновения разлива нефти при ТП, $P_{ТП(разл)}$	Вероятность появления гидрологического режима $P_{гидр.реж}$	Вероятность разлива нефтепродукта $P_{н/п}$	Скорость и направление ветра. Среднегодовая совместная повторяемость скорости и направления ветра $\omega_{n,j,k}$	Коэффициент достижения разлива, k	Вероятность загрязнения зоны ВЗ $P_{загр} \cdot 10^{-4}$, 1/год	
1	2	3	4	5	6	7	8	
Зона водозаборного сооружения (912 км) в очаге аварийности 911,7 км								
0,3677	0,848	0,09	0,68 (межень)	1 (диз. топливо)	0 – 3,7 м/с	Северный (2,586 · 10 ⁻²)	1	4,935
						Северо-восточный (10,603 · 10 ⁻²)	1	20,234
						Восточный (14,568 · 10 ⁻²)	1	27,800
						Юго-восточный (19,998 · 10 ⁻²)	1	38,162
						Южный (15,947 · 10 ⁻²)	1	30,432
						Юго-западный (15,947 · 10 ⁻²)	1	30,432
						Западный (6,293 · 10 ⁻²)	1	12,009
						Северо-западный (0,216 · 10 ⁻²)	1	0,412
					3,7 – 17 м/с	Северный (0,414 · 10 ⁻²)	1	0,790
						Северо-восточный (1,697 · 10 ⁻²)	1	32,384
						Восточный (2,332 · 10 ⁻²)	1	4,450
						Юго-восточный (3,202 · 10 ⁻²)	1	6,110
						Южный (2,553 · 10 ⁻²)	1	4,872
						Юго-западный (2,553 · 10 ⁻²)	1	4,872
						Западный (1,007 · 10 ⁻²)	1	1,922
						Северо-западный (0,034 · 10 ⁻²)	1	0,065

Таблица 2
(Окончание)

Зона ООПТ (874 — 899 км) в очаге аварийности 875,5 км								
0,3569	0,848	0,09	0,68 (межень)	1 (диз. топливо)	0 – 3,7 м/с	Северный ($2,586 \cdot 10^{-2}$)	1	4,790
						Северо-восточный ($10,603 \cdot 10^{-2}$)	1	19,640
						Восточный ($14,568 \cdot 10^{-2}$)	1	26,984
						Юго-восточный ($19,998 \cdot 10^{-2}$)	1	37,042
						Южный ($15,947 \cdot 10^{-2}$)	1	29,539
						Юго-западный ($15,947 \cdot 10^{-2}$)	1	29,539
						Западный ($6,293 \cdot 10^{-2}$)	1	11,657
						Северо-западный ($0,216 \cdot 10^{-2}$)	1	0,400
					3,7 – 17 м/с	Северный ($0,414 \cdot 10^{-2}$)	1	0,767
						Северо-восточный ($1,697 \cdot 10^{-2}$)	1	31,434
						Восточный ($2,332 \cdot 10^{-2}$)	1	4,320
						Юго-восточный ($3,202 \cdot 10^{-2}$)	1	5,931
						Южный ($2,553 \cdot 10^{-2}$)	1	4,729
						Юго-западный ($2,553 \cdot 10^{-2}$)	1	4,729
						Западный ($1,007 \cdot 10^{-2}$)	1	1,865
						Северо-западный ($0,034 \cdot 10^{-2}$)	1	0,063

Анализ полученных данных по всем рассмотренным объектам показывает, что максимальная вероятность возникновения загрязнения нефтью и нефтепродуктами зоны водозаборного сооружения в очагах аварийности на реке Волге составляет $P_{\text{загр}} = 38,162 \cdot 10^{-4}$ 1/г, а зоны ООПТ составляет $P_{\text{загр}} = 37,042 \cdot 10^{-4}$ 1/г.

В российских нормативных документах [10], [11] установлена следующая градация для индивидуального риска (табл. 3).

Таблица 3

Классификация уровней риска

Уровень риска	Индивидуальный риск
$\leq 10^{-6}$	Безусловно приемлемый
$10^{-6} — 10^{-4}$	Предельно приемлемый
$10^{-4} — 10^{-3}$	Приемлемый для профессионалов, но неприемлемый для населения
$\geq 10^{-3}$	Неприемлемый риск

По данным табл. 2 были выявлены максимальные вероятности возникновения нефтяного загрязнения санитарно-защитных зон ООПТ и ВЗ вследствие аварии нефтеналивного и неналивного типа судов и по полученным данным построены диаграммы (рис. 2 и 3 соответственно). Также на диаграммы нанесены уровни риска в соответствии с табл. 3.

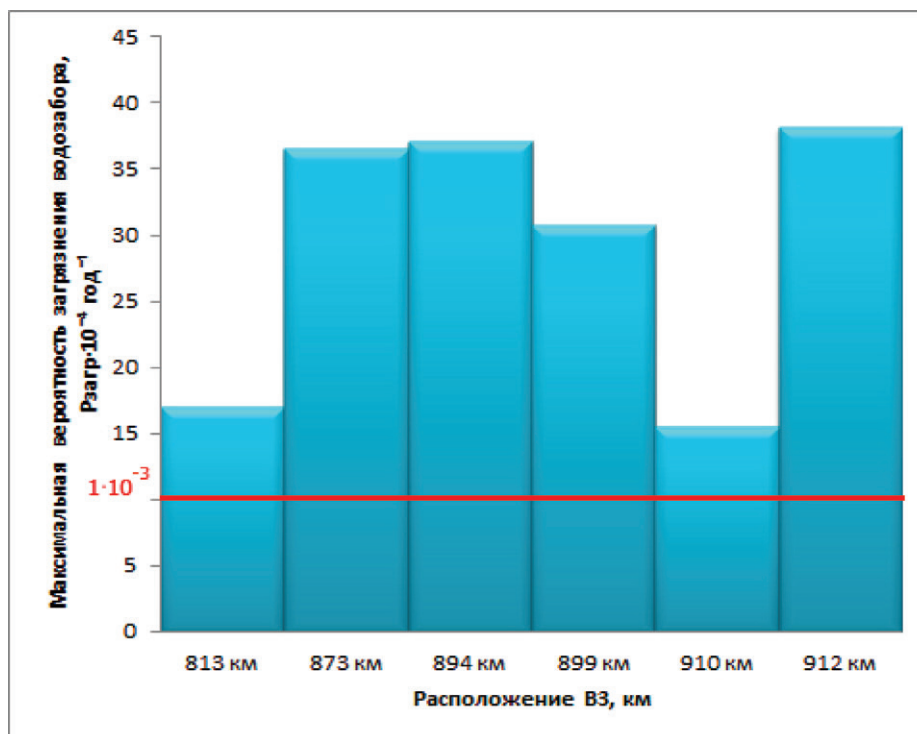


Рис. 2. Диаграмма максимальной вероятности загрязнения санитарно-защитных зон ВЗ внутренних водных путей нефтью и нефтепродуктами

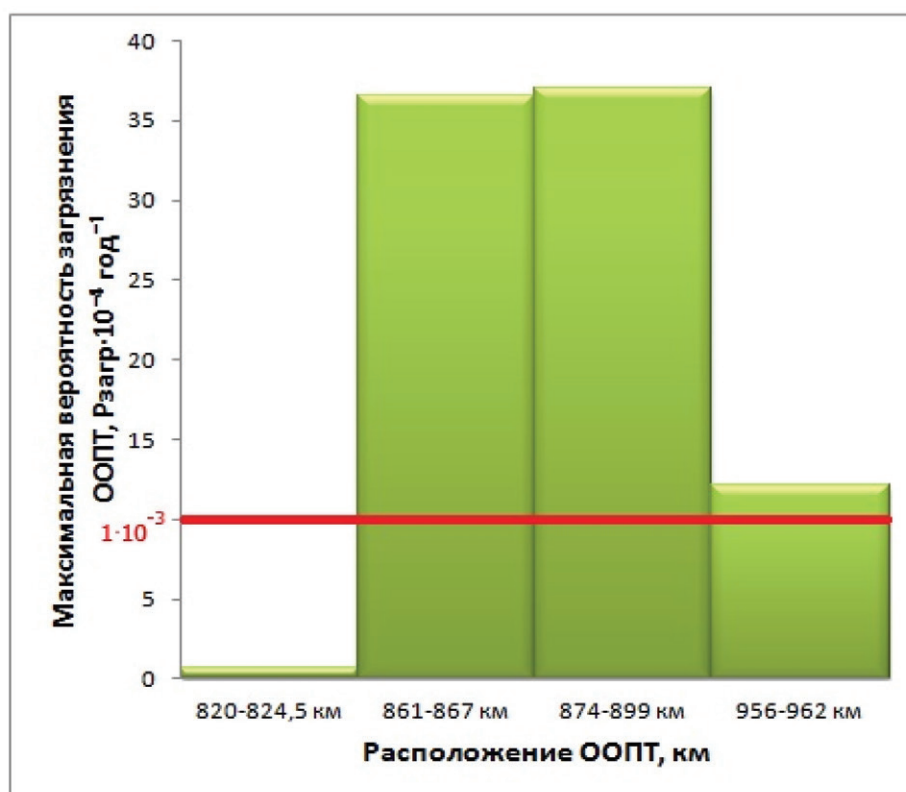


Рис. 3. Диаграмма максимальной вероятности загрязнения санитарно-защитных зон ООПТ внутренних водных путей нефтью и нефтепродуктами

Выводы

1. Выполнена оценка уровня риска нефтяного загрязнения санитарно-защитных зон ООПТ и ВЗ при аварии нефтеналивного и неналивного типа судов.

2. Установлено, что риск для всех рассматриваемых ВЗ превышает уровень 10^{-3} и в соответствии с классификацией уровня риска является неприемлемым риском. Для большинства рассматриваемых ООПТ уровень риска также находится на неприемлемом уровне, а значит, существует необходимость разработки мероприятий по устранению или снижению риска для экологически чувствительных районов внутренних водных путей.

Список литературы

1. *Наумов В. С.* Проблема защиты экологически чувствительных территорий при разливах нефти на внутренних водных путях / В. С. Наумов, А. Е. Пластинин, О. С. Нестерова // Журнал университета водных коммуникаций. — 2013. — № 3 (19). — С. 130–135.
2. *Пластинин А. Е.* Оценка ожидаемого ущерба водным объектам при разливах нефти / А. Е. Пластинин // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2013. — № 1 (20). — С. 97–104.
3. *Воробьев Ю. Л.* Предупреждение и ликвидация аварийных разливов нефти и нефтепродуктов / Ю. Л. Воробьев, В. А. Акимов, Ю. И. Соколов. — М.: Ин-октаво, 2005. — С. 106–107.
4. *Наумов В. С.* Моделирование процессов ликвидации разливов нефти с судов / В. С. Наумов, А. Е. Пластинин // Речной транспорт (XXI век). — 2014. — № 3. — С. 65–70.
5. *Наумов В. С.* Организация контроля потенциально-опасных объектов судоходства / В. С. Наумов, А. Е. Пластинин // Журнал университета водных коммуникаций. — 2010. — № 8 (4). — С. 92–97.
6. Научно прикладной справочник по климату СССР. — Сер. 3. Многолетние данные. — Ч. 1–6. — Вып. 29. — СПб.: Гидрометеиздат, 1992.
7. Атлас единой глубоководной системы Европейской части РСФСР. — Т. 5: Река Волга. От Рыбинского гидроузла до Казани. — М.: ЦКФ ВМФ, 1988. — 45 с.
8. *Нестерова О. С.* Оценка смещения участков аварийности транспортных судов в районе Верхней Волги / О. С. Нестерова, А. Е. Пластинин // Материалы IV Межвуз. науч.-практ. конф. «Современные тенденции и перспективы развития водного транспорта России», 15 – 16 мая 2013 г. — СПб: ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова, 2013. — С. 286–290.
9. *Пластинин А. Е.* Определение очагов аварийности транспортных происшествий на внутренних водных путях / А. Е. Пластинин, А. Н. Бородин // Тринадцатая нижегородская сессия молодых ученых (Технические науки): мат. докл. — Н. Новгород: Изд-во О. В. Гладкова, 2008. — С. 84–85.
10. Критерии установления уровней минимального риска здоровью населения от загрязнения окружающей среды: метод. рекомендации. — МосМР 2.1.9.001-03. — М., М-во здравоохранения РФ, 2003.
11. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. — Руководство Р 2.1.10.1920–04 (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 05.03.2004). — М., М-во здравоохранения РФ, 2004.