

## Математическая модель для прогнозирования последствий сброса жидких технологических отходов в гидросферу

ISSN 1996-8493

DOI:10.54234/CST.19968493.2023.20.1.75

© Технологии гражданской безопасности, 2023

**В.А. Акимов, С.В. Колеганов, А.В. Мишурный**

### Аннотация

В статье представлено математическое описание основных прогнозных параметров сброса жидких технологических отходов в гидросферу: прогнозируемая концентрация наиболее опасных загрязняющих веществ; прогнозируемое снижение показателей химического и биохимического потребления кислорода.

**Ключевые слова:** сброс жидких технологических отходов в гидросферу; прогнозно-аналитическая модель; основные входные данные; прогнозируемая концентрация наиболее опасных загрязняющих веществ; прогнозируемое снижение показателей химического и биохимического потребления кислорода; анализ статистических данных, основанный на байесовском методе.

## Mathematical Model for Predicting the Consequences of Dumping Liquid Technological Waste into the Hydrosphere

ISSN 1996-8493

DOI:10.54234/CST.19968493.2023.20.1.75

© Civil Security Technology, 2023

**V. Akimov, S. Koleganov, A. Mishurny**

### Abstract

The article presents mathematical description of the main forecast parameters of the liquid technological waste discharge into the hydrosphere: predicted concentration of the most dangerous pollutants; predicted decrease in the indicators of chemical and biochemical oxygen consumption.

**Key words:** discharge of liquid technological waste into the hydrosphere; predictive and analytical model; basic input data; predicted concentration of the most dangerous pollutants; predicted decrease in chemical and biochemical oxygen consumption; analysis of statistical data based on the Bayesian method.

03.03.2023

## Введение

Опасные химические соединения являются одними из основных загрязнителей водных объектов. В зависимости от химических свойств такие загрязнения подразделяются на различные категории. Например, на предприятиях нефтехимической и химической промышленности вода используется как растворитель, при этом образуются, как правило, специфические сточные воды. Целлюлозно-бумажные комбинаты, предприятия легкой и пищевой промышленности используют воду в качестве рабочей среды. Среди загрязняющих веществ, поступающих в водные объекты с промышленных предприятий, наиболее заметный вред наносят углеводороды [1].

Мониторинг экологической обстановки на водных объектах Российской Федерации имеет высокую актуальность, обеспечивает: раннее выявление процессов сброса жидких технологических отходов и опасностей, вызванных этими процессами; оперативное информирование соответствующих служб, заинтересованных, в том числе, в эффективном прогнозировании развития таких событий. Поэтому разработка методики прогнозной и аналитической модели «Сброс жидких технологических отходов в гидросферу» (ПАМ СО) является важной научно-практической задачей по формированию долгосрочного прогноза угрозы, как совокупности явлений сброса жидких технологических отходов в гидросферу [2].

В основу методики ПАМ-СО положены теоретические подходы в области анализа статистических данных, основанные на байесовском методе интерпретации вероятности, когда вероятность отражает степень доверия к вероятному событию, которая может измениться, и новая информация о наступающем событии будет сформирована.

Основными входными данными для формирования базового обучающего множества ПАМ-СО являются следующие группы параметров [3]: параметры систем (постов) мониторинга сброса жидких технологических отходов (ЖТО), расположенных в непосредственной близости от источников сброса ЖТО промышленных объектов; параметры систем (постов) мониторинга сброса ЖТО, расположенных на наблюдаемой территории (НТ); характеристики источников сброса ЖТО; характеристики участков водных объектов (ВО) (от источников сброса ЖТО до объектов водозаборов); характеристики гидрологической обстановки.

В ПАМ-СО вероятностной оценке с использованием байесовского классификатора подлежат гипотезы: для прогнозирования концентрации веществ, входящих в состав ЖТО; для прогнозирования снижения показателей химического потребления кислорода (ХПК) и биохимического потребления кислорода (БПК) [4].

## 1. Прогноз концентрации наиболее опасных загрязняющих веществ

Общий показатель качества воды предназначен для оценки уровня загрязнения ВО и влияния качества воды на здоровье населения на территории муниципального образования в зависимости от полученной концентрации веществ, входящих в состав ЖТО.

Согласно [5] показатель качества воды для каждого вещества, входящего в состав ЖТО (фенол, формальдегид, аммиак, хром и др.), а также для ХПК и БПК, определяется по формуле:

$$WQI = \frac{C_i}{ПДК_i}, \quad (1)$$

где:

$C_i$  — концентрация  $i$ -го вещества, входящего в состав ЖТО, в месте размещения системы (поста) мониторинга сброса ЖТО, а для показателей ХПК и БПК — их значения, по состоянию на дату и время начала прогнозирования, мг/дм<sup>3</sup>;

$ПДК_i$  — предельно допустимая концентрация  $i$ -го вещества, входящего в состав ЖТО, а для показателей ХПК и БПК — их нормативные значения, мг/дм<sup>3</sup>.

Общий показатель качества воды (SCWQI) определяется по формуле:

$$SCWQI = \left( \sum_{i=1}^6 \frac{C_i}{ПДК_i} \right) / 6. \quad (2)$$

Концентрация веществ, входящих в состав ЖТО, рассчитывается по формуле:

$$C(L_x, t) = \frac{m_0}{F(4\pi D_x t)^{0.5}} \left[ \exp\left(-\frac{(L_x - \mathcal{G}t)^2}{4D_x t}\right) - Kt \right], \quad (3)$$

где:

$C(L_x, \tau)$  — средняя концентрация вещества в ВО на расстоянии  $L_x$  через время  $t$ , г/м<sup>3</sup>;

$L_x$  — общая протяженность участка ВО от места сброса ЖТО до системы (поста) мониторинга сброса ЖТО, м;

$m_0$  — начальная масса сброшенного вещества в ВО, г;

$F$  — площадь поперечного сечения ВО, м<sup>2</sup>;

$D_x$  — коэффициент продольной дисперсии, м<sup>2</sup>/с;

$t$  — время, прошедшее от начала сброса ЖТО в ВО, с;

$\mathcal{G}$  — средняя скорость течения воды на участке ВО, м/с;

$K$  — коэффициент скорости самоочищения воды от сброшенного вещества, входящего в состав ЖТО, 1/с.

Коэффициент продольной дисперсии  $D_x$  для участков ВО шириной менее 10 м определяется по формуле:

$$D_x = 1,81H_*\mathcal{G}^*c^{-0,63} \left( \frac{B_*}{H_*} \right)^{1,49}, \quad (4)$$

где:

$\mathcal{G}^*$  — средняя по сечению речного потока скорость течения воды на рассматриваемом участке ВО, м/с;

$H_*$  и  $B_*$  — средняя глубина и ширина участка ВО, м;

$c$  — коэффициент Шези, м<sup>0,5</sup>/с.

Для участков ВО шириной русла более 10 м коэффициент продольной дисперсии  $D_x$  определяется по формуле:

$$D_x = 4300H_*\mathcal{G}^*c^{-2,63}. \quad (5)$$

## 2. Прогноз снижения показателей химического и биохимического потребления кислорода

Коэффициент Шези (коэффициент сопротивления трения по длине) в зависимости от времени года рассчитывается по следующим зависимостям:

при наличии ледяного покрова на участке ВО:

$$c = \frac{1}{n_{зим}} (0,5H_*)^{y^3}, \quad (6)$$

где:

$n_{зим}$  — коэффициент шероховатости русла для зимнего периода времени;

$Y^3$  — коэффициент степени, зависящий от коэффициента шероховатости русла;

для летнего периода времени на участке ВО:

$$c = \frac{1}{n_{л}} R^y, \quad (7)$$

где:

$n_{л}$  — коэффициент шероховатости русла;

$R$  — гидравлический радиус русла, м;

$y$  — коэффициент степени, зависящий от коэффициента шероховатости русла:

$$y = 2,5\sqrt{n_{л}} - 0,13 - 0,75\sqrt{R} (\sqrt{n_{л}} - 0,1). \quad (8)$$

Тогда массу вещества, входящего в состав ЖТО, сброшенного в водный поток, можно определить по формуле:

$$m_g = \frac{C(L_x, t) F(4\pi D_x t)^{0,5}}{\left[ \exp\left(-\frac{(L_x - gt)^2}{4D_x t}\right) - Kt \right]}. \quad (9)$$

При этом выходными данными ПАМ–СО будут:

вероятностная оценка прогнозируемых концентраций различного типа ЖТО в заданный период времени на системах (постах) мониторинга сбросов ЖТО;

вероятностная оценка снижения показателей ХПК и БПК в результате сброса ЖТО;

оценка уровня загрязненности воды на основании общего показателя качества воды SCWQI.

## Заключение

Таким образом, в статье представлено краткое описание математической модели для прогнозирования последствий сброса жидких технологических отходов в гидросферу с использованием метода Байеса [6].

## Литература

1. Акимов В. А. Риски при обращении с отходами производства и потребления / В. А. Акимов, Ю. И. Соколов. М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2014. 372 с. ISBN978-5-93970-124-2. EDN: TRCNQH.
2. Методика прогнозной и аналитической модели «Сброс жидких технологических отходов в гидросферу». М.: ООО НЦИ, 2021. 172 с.
3. Акимов В. А., Иванова Е. О., Мишурный А. В. АПК «Безопасный город»: исходные данные для прогнозирования последствий сброса жидких технологических отходов в гидросферу // Гражданская защита. 2022. № 9 (565). С. 61–62.
4. Предварительный национальный стандарт Российской Федерации ПНСТ 770-2022 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Безопасный город. Прогнозирование последствий сброса жидких технологических отходов в гидросферу. Общие требования» (утвержден приказом Росстандарта от 18 ноября 2022 г. № 122-пнст).
5. Р52.24.627-2007 «Рекомендации. Усовершенствованные методы прогностических расчетов распространения по речной сети зон высокозагрязненных вод с учетом форм миграции наиболее опасных загрязняющих веществ».
6. Прогнозно-аналитические решения по природным, техногенным и биолого-социальным угрозам единой системы информационно-аналитического обеспечения безопасности среды жизнедеятельности и общественного порядка «Безопасный город» / В. А. Акимов, А. В. Мишурный, О. В. Якимюк и др. М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2022. 315 с. ISBN978-5-93970-278-2. EDN: MGXNYI.

## Сведения об авторах

**Акимов Валерий Александрович:** д. т. н., проф., засл. деятель науки РФ, ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), гл. н. с. института. Москва, Россия. SPIN-код: 8120-3446.

**Колганов Сергей Викторович:** МЧС России, начальник отдела Департамента образовательной и научно-технической деятельности, подполковник. Москва, Россия. SPIN-код: 2676-1470.

**Мишурный Андрей Викторович:** АО «Объединенная приборостроительная корпорация», руковод. проектн. офиса «Безопасный город». Москва, Россия. SPIN-код: 2799-6308.

## Information about authors

**Akimov Valery A.:** ScD (Technical Sc.), Professor, Honored Scientist of the Russian Federation, All-Russian Research Institute for Civil Defense and Emergencies, Chief Researcher of the Institute. Moscow, Russia. SPIN-scientific: 8120-3446.

**Koleganov Sergey V:** EMERCOM of Russia, Head of Section of the Department of Educational and Scientific and Technical Activities. Moscow, Russia. SPIN-scientific: 2676-1470.

**Mishurny Andrey V.:** JSC «United Instrument-Making Corporation», Head of the Project Office «Safe City». Moscow, Russia. SPIN-scientific: 2799-6308.