

УДК 628.241:556
AGRIS: M40

ПРОЦЕССЫ, ПРОТЕКАЮЩИЕ В ВОДОТОКАХ ПОСЛЕ СБРОСА В НИХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

©*Кувватов Д. А., Ташкентский институт инженеров ирригации
и механизации сельского хозяйства, г. Ташкент, Узбекистан*

PROCESSES ARISING IN WATER FLOWS AFTER THE DISTURBANCE OF THE CONTAMINATION

©*Kuvvatov D., Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers,
Tashkent, Uzbekistan*

Аннотация. В статье рассматриваются диффузия в жидкости, движущейся по стенкам круглой трубы, диффузия из коллекторного источника в движущуюся воду, прогнозирование процесса диффузии при распределении концентрации переменной плотности по длине канала, определение длины пути распределения коллекторной воды в канале и их полное смешение.

Abstract. The article deals with diffusion into a liquid moving along the walls of a circular pipe, diffusion from a collector source into moving water, prediction of the diffusion process in the distribution of the concentration of variable density along the length of the channel, determination of the path length distribution of collector water in the channel and their complete mixing.

Ключевые слова: грунтовые воды, сброс термальных вод, загрязнение водотоков, молекулярная диффузия, стационарная диффузия, движущиеся воды канала.

Keywords: groundwater, discharge of thermal waters, watercourses after discharge, pollution, flowing, molecular diffusion, stationary diffusion, moving waters of the canal.

Введение

Вопросы экологической безопасности имеют огромное значение в крупных городах и промышленных центрах. Особенно это касается водных объектов, являющихся ценным ресурсом, используемым почти во всех отраслях народного хозяйства. За счет хозяйственной деятельности влияние человека на качество водных ресурсов в XXI веке приняло глобальный характер. С помощью огромного числа инженерных сетей и каналов по всей планете в технологический оборот запускается большая часть естественного стока воды. Цикл водопользования при производстве товаров и услуг определяет санитарное состояние водоемов. Необходимо отметить, что в данной цепочке важнейшую роль играет потенциал самоочищения водного объекта, который зависит от условий сброса сточных вод и процесса массообмена.

Сточные воды после предварительной очистки, поступают в водоем, где в дальнейшем протекают процессы разбавления и самоочищения. Одной из причин ухудшения качества воды может быть увеличение нагрузки на водный объект или снижение эффективности функционирования выпусков. Свести негативное воздействие к минимуму может позволить своевременный анализ всех возможных вариантов сброса стоков и составление плана охраны

вод на базе использования математического моделирования и оптимизации водоохранных мероприятий.

Специфика разработки программ водоохраны, сочетающихся с прогнозом качества воды, выдвигает определенные требования к моделям формирования качества воды. Спектр процессов, протекающих в водной среде, достаточно сложен, поэтому выбор модели должен определяться характером вопроса, требующего решения. На сегодняшний день разработан большой комплекс математических моделей, позволяющих имитировать и исследовать различные процессы в водном объекте.

Основные (базовые) методы прогнозирования качества воды отражены в работах Р. А. Мурадова, А. Ш. Дурманова, А. А. Хамидова, С. И. Худайкулова, И. Э. Махмудова, С. Р. Умарова, Б. У. Суванова, С. Х. Исаева, Жуманова А. и др. [1–9].

Указанными авторами решалась задача по получению общей кратности разбавления или распространения примеси в водоемах (озерах и морях) и водотоках в рамках n -мерной, стационарной и нестационарной задачи. Для этого применялись приближенный аналитический подход или численные методы решения. В большинстве методов рассматривается сосредоточенный сброс примеси. Случай рассеивающего выпуска рассматривается в работах Н. Н. Лапшева и А. Д. Гиргидова [10–11]. При этом только у Лапшева расчеты начального и основного разбавления взаимосвязаны. Также в современных работах большое внимание уделяется моделированию конкретных водных объектов, где акцент исследования ставится на гидрологический режим и его влияние в распространении, и трансформации поступающих со сточными водами загрязнений.

Проведенный обзор методов отражает недостаточную изученность влияния конструкции рассеивающего выпуска на процесс основного разбавления сточных вод. В качестве рабочей гипотезы выдвигается получение эффекта основного разбавления сточных вод вследствие изменения конструктивных параметров рассеивающего выпуска.

Материалы и методы

Разработать на основании критического изучения существующих способов анализа и расчета процесса разбавления сточных вод с использованием безразмерных параметров более совершенную методику, которая даст возможность получить более простые, но вместе с тем достаточно точные зависимости, удобные для проведения инженерных расчетов.

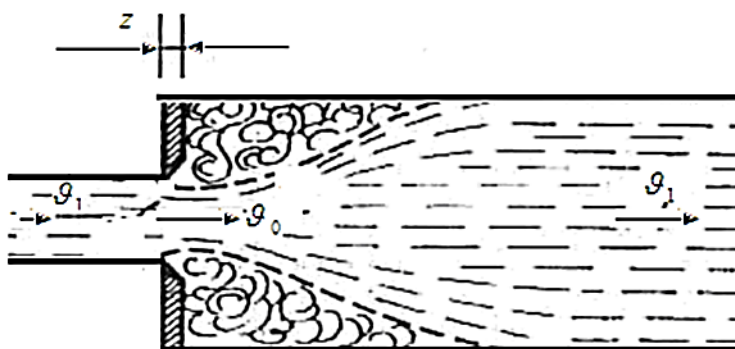


Рисунок 1. Сброс в канал термальных вод.

Причинами загрязнения вод по длине канала являются: минеральный состав грунтов, слагающих ложе и откосы канала; приток грунтовых вод; поступление дождевых вод; ветровые заносы; влияние застойной зоны; испарение; фильтрация из канала; сброс в канал

термальных вод. Кроме того, в каналах с небольшими расходами на качество воды может оказать влияние и гидрохимическая эрозия.

Приток грунтовых вод, фильтрация и сброс термальных вод могут наблюдаться как в отдельных пунктах, так и по всей длине или по части канала.

Процессы, протекающие в водотоках после сброса в них загрязнений, описываются уравнениями турбулентной диффузии.

При сбросе потока грунтовых вод, фильтрации и сброс термальных вод — компонент А в канал — компонент В, происходит молекулярная диффузия, т. е. происходит стационарная диффузия в движущихся водах канала. Тогда при стационарном состоянии для равно молекулярной диффузии вдоль оси z расход q определяется выражением вида:

$$q = -D_{AB} \frac{dC}{dz} \frac{\kappa\Gamma \cdot \text{моль}}{\text{м}^2} \cdot \nu \quad (1)$$

где q — поток вещества.

D_{AB} — коэффициент молекулярной диффузии, размерность $\frac{\text{м}^2}{\text{сек}}$,

$\frac{dC}{dz}$ — градиент концентрации.

«←» указывает на то, что поток вещества направлен в противоположную сторону от направления градиента концентрации.

Уравнение (1) после разделения переменных примет вид:

$$qdz = -D_{AB}dC$$

для граничных условий $z = z_1, C = C_{a_1}, z = z_2, C = C_{a_2}$ получим:

$$q = -D_{AB} \frac{C_{a_1} - C_{a_2}}{z_2 - z_1} \quad (2)$$

Уравнение (2) справедливо для сильно разбавленных систем при постоянной температуре.

Для диффузии компонента А через неподвижный компонент В при постоянном давлении p и температуре для идеальной газовой системы, если x_a — молярная доля компонента А, получим:

$$q = -\frac{D_{AB} \left(\frac{p}{RT} \right) dc_a}{1 - x_2} \frac{dz}{dz} = -\frac{D_{AB} \left(\frac{p}{RT} \right) dp_a}{p - p_a} \frac{dz}{dz} = -D_{AB} \left(\frac{p}{RT} \right) \frac{d \ln p_b}{dz} \quad (3)$$

При $q = const$; уравнение (3) после интегрирования примет вид:

$$q = \frac{D_{AB} \left(\frac{p}{RT} \right) \ln \frac{p_{b_2}}{p_{b_1}}}{z_2 - z_1} = \frac{D_{AB} \left(\frac{p}{RT} \right) p_{a_1} - p_{a_2}}{z_2 - z_1} \frac{1}{p_{b_{cp}}} \quad (4)$$

где:

p_{a_1}, p_{a_2} — парциальные давления компонента A и двух точек, находящихся на расстоянии;

$z_2 - z_1$ в направлении диффузии;

$$p_{b_{cp}} = \frac{p_{b_2} - p_{b_1}}{\ln \frac{p_{b_2}}{p_{b_1}}} \quad \text{— среднее логарифмическое парциального давления не}$$

диффундирующего газа.

Уравнение (4) используется для определения коэффициента диффузии в газах по методу Стефана и называется уравнением Стефана.

Если парциальное давление компонента A весьма мало по сравнению с парциальным давлением компонента B , т. е. система сильно разбавленная, величина $p_{b_{cp}}$, практически равна p и уравнение (4) приводится в виду

$$q = \frac{D_{AB}}{RT(z_2 - z_1)} (p_{a_1} - p_{a_2}) \quad (5)$$

уравнение (5) может быть получено непосредственно из уравнения (2), если вместо концентрации компонента A подставить его парциальное давление $C_a = \frac{p_a}{RT}$.

Стационарная диффузия в движущихся водах

Диффузия в падающей пленке. Для диффузии растворенного вещества A в жидкую пленку компонента B , движущуюся ламинарно, имеется несколько аналитических решений, точность которых зависит от принятых допущений. При наиболее простом аналитическом решении принимается, что время контакта очень мало и допустимы следующие условия:

- а) пленка движется с плоским профилем скоростей w_0 . (Рисунок 1),
- б) пленка бесконечной толщины;
- в) концентрация у поверхности $x = 0$ есть C_0 .

Уравнение диффузии берется в виде:

$$w_0 \frac{\partial C_a}{\partial z} = D_{AB} \frac{\partial^2 C_a}{\partial x^2} \quad (6)$$

причем компонентой $\frac{dC_a}{dz}$ в направлении потока можно пренебречь.

При граничных условиях:

- а) при $x = 0$; $C_a = C_{a_0}$ при всех z ;
- б) при $x = \infty$; $C_a = C_{a_\infty}$ при всех x ;

решение уравнения (6) приводит к зависимости

$$\left(\frac{C_a - C_{a_\infty}}{C_{a_0} - C_{a_\infty}} \right) = 1 - \operatorname{erf} \frac{x}{\sqrt{4D_{AB} \frac{z}{w_0}}} \quad (7)$$

Уравнение (7) справедливо и для неустановившегося состоянии диффузии в пленку при

$$\tau = \frac{z}{w_0}$$

Уравнение (6) решено для диффузии в падающую пленку с плоским профилем скоростей при конечной толщине жидкой пленки о при следующих граничных условиях:

а) при $x = 0$; $C_a = C_{a_0}$ при всех z ;

б) при $x = \delta$; $\frac{dC_a}{dx} = 0$ при всех z ; (8)

в) при $z = 0$; $C_a = C_{a_1}$ при всех x ;

Это решение имеет вид

$$\left(\frac{C_a - C_{a_1}}{C_{a_0} - C_{a_1}} \right) = 1 - 2 \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\sin\left(n + \frac{1}{2}\right) \frac{\pi x}{\delta}}{\left(n + \frac{1}{2}\right) \pi} \exp\left\{ - \left[\left(n + \frac{1}{2}\right) \frac{\pi}{\delta} \right]^2 \frac{D_{AB} z}{w_0} \right\} \quad (9)$$

Более точное решение можно получить для установившегося ламинарного движения. В этом случае уравнение Навье–Стокса (9) приводится к виду:

$$\rho g + \mu \frac{\partial^2 w_z}{\partial x^2} = 0 \quad (10)$$

Используя координатную систему (Рисунок 2) и принимая, что ρ и μ — величины постоянные при граничных условиях: $w_z = 0$ $x = \delta$, и

$$\frac{\partial w_z}{\partial x} = 0 \quad \text{при } x = 0,$$

после интегрирования уравнения (10) получим:

$$w_z(x) = \frac{\rho g \delta^2}{2\mu} \left[1 - \left(\frac{x}{\delta} \right)^2 \right] = w_{\max} \left[1 - \left(\frac{x}{\delta} \right)^2 \right] \quad (11)$$

где w_{\max} — максимальная скорость в пленке (у поверхности) и

$$w_{cp} = \frac{2}{3} w_{\max}$$

Это приводит к тому, что толщина пленки определяется выражением

$$\delta = \sqrt[3]{\frac{3\mu\Gamma}{\rho^2 g}} = \sqrt[3]{\frac{3\mu^2 \text{Re}}{4\rho^2 g}} \quad (13)$$

где $\text{Re} = \frac{4\Gamma}{\mu}$, $\Gamma = \rho w_{ch} \delta$ — массовая скорость потока в направлении z на единицу ширины смоченной стенки в направлении x .

Диффузия в жидкость, движущуюся по стенкам круглой трубы

Рассмотрим случай, когда у смоченных стенок газ движется с плоским профилем скоростей и с параболическим профилем (Рисунок 2).

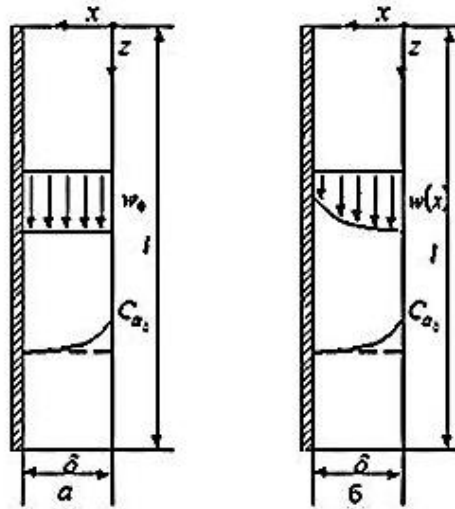


Рисунок 2. Диффузия падающего потока в канал из коллектора: а — плоский профиль, б — параболический профиль.

Если скорость жидкости по стенке постоянна по всему сечению трубы и компонент A диффундирует от стенки в поток компонента B , то уравнение диффузии представим в цилиндрических координатах:

$$w_0 \frac{\partial C_A}{\partial z} = D_{AB} \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial C_A}{\partial r} \right) \quad (14)$$

где r — цилиндрическая координата, равная $r = \sqrt{x^2 + y^2}$. Диффузией в направлении потока можно пренебречь по сравнению с конвективной составляющей $w_0 \frac{\partial C_A}{\partial z}$.

Примем следующие граничные условия [9]:

- а) $C_A = C_{A_1}$, при $z = 0$ для всех r (15)
- б) $C_A = C_{A_{1R}}$, при $z = R$ для всех r ;

Введение бесселевых функций первого рода I_0 , и I_1 приводит к выражению

$$\frac{C_A - C_{A_1}}{C_{A_R} - C_{A_1}} = 1 - 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{a_n} \frac{I_0 \left(a_n \frac{r}{R} \right)}{I_1(a_n)} \exp \left(- \frac{D_{AB} a_n^2 z}{w_0 R^2} \right) \quad (16)$$

Средняя концентрация \bar{C}_{A_R} на выходе из трубы при $z = l$ будет:

$$\frac{\bar{C}_{A_R} - C_{A_1}}{C_{A_R} - C_{A_1}} = 1 - 4 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{l}{a_n} \exp\left(-\frac{D_{AB} a_n^2 z}{w_0 R^2}\right) \quad (17)$$

Где a_n — радиус, для которого $I(r) = 0$.

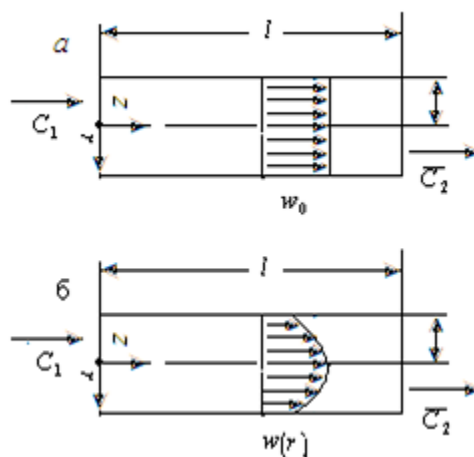
Рисунок 3. Диффузия коллекторной воды круглой трубы в пресную воду: а — плоский профиль, б — параболический профиль

При параболическом распределении скоростей (Рисунок 1-3) в соответствии с решением уравнения Навье-Стокса

$$w_{\max} = \left[1 - \left(\frac{r}{R}\right)^2\right] \frac{\partial C_A}{\partial z} = D_{AB} \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial C_A}{\partial r} \right) \quad (18)$$

С учетом граничных условий получим:

$$\frac{\bar{C}_{A_R} - C_{A_1}}{C_{A_R} - C_{A_1}} = 1 - 2 \sum_{n=1}^{\infty} a_n \exp\left[-b \left(\frac{D_{AB}}{w_{cp} R^3}\right) l\right] \quad (19)$$



$w_{cp} = \frac{1}{2} w_{\max}$; a_n, b_n константы, имеющие значения приводятся в Таблице 1.

Таблица 1.

ЗНАЧЕНИЙ КОНСТАНТЫ a_n, b_n ПРИВЕДЕННЫХ В РАЗЛОЖЕНИЕ

n	a_n	b_n
1	0,8200	3,658
2	0,0972	22,178
3	0,0135	53,050

Однако опытные данные лучше согласуются с уравнением (16), чем с уравнением (19), что объясняется влиянием конвекции, выравнивающей профиль скоростей.

На практике такая диффузия наблюдается в аппаратах с фиксированной поверхностью контакта и в аппаратах со смоченными стенками.

Диффузия из коллекторного источника в движущуюся воду канала

Рассмотрим диффузию компонента, сбрасываемой соленой воды концентрации C_a воды из коллектора A , инжектируемого в канал, типа растворитель B , движущийся в направлении x с постоянной скоростью w_0 . Для нахождения полной растворимости выбрасываемой соленой воды, рассмотрим уравнение диффузии. Уравнение диффузии для нашего случая имеет вид:

$$w_0 \frac{\partial C_a}{\partial z} = D \nabla^2 C_a \quad (20)$$

при следующих граничных условиях [9]:

$$C_a = 0 \text{ при } r \rightarrow \infty$$

$$4\pi r^2 D \left(\frac{\partial C_a}{\partial r} \right) = Q_A \text{ при } r \rightarrow 0,$$

где r — расстояние от источника ($r^2 = x^2 + y^2 + z^2$); z — расстояние вниз по потоку от источника; Q_A — скорость, с которой компонент, т. е. коллекторная вода A входит в состав воды в канале. Решение уравнения (20) приводит к зависимости

$$C_a = \frac{Q_A}{4\pi r D_{AB}} e^{-\left(\frac{w_0}{2D_{ab}}\right)(r-z)} \quad (21)$$

Диффузия из точечного источника, т. е. из коллектора используется при анализе профиля концентраций по всему каналу и определении коэффициентов вихревой диффузии по каналу.

Прогнозирование процесса диффузии

при распределении концентрации переменной плотности по длине канала

Соленая вода сбрасывается в открытый канал постоянной концентрацией потока с одинаковыми поперечными сечениями.

Для открытых потоков с одинаковым поперечным сечением каналов уравнение одномерной диффузии с учетом разности плотностей сбрасываемых вод имеет вид:

$$\frac{\partial(\rho C)}{\partial t} + g \frac{\partial(\rho C)}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left[D_x \frac{\partial(\rho C)}{\partial x} \right] \quad (22)$$

где ρ — плотность поступающего соленого потока.

Рассмотрим стационарный случай диффузии с учетом не консервативности. Тогда уравнение (22) примет вид:

$$g \frac{\partial(\rho C)}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left[D_x \frac{\partial(\rho C)}{\partial x} \right] + k(\rho C) \quad (23)$$

При постоянной плотности перемешивание обусловлено только турбулентностью, вызванной внешними причинами.

Рассмотрим поток вдоль оси x в интервале $0 \leq x \leq l$; при $x = 0$ отделим жидкость с концентрацией загрязняющих веществ C_0 и плотностью ρ от жидкости, не содержащей загрязняющих веществ и имеющей плотность ρ_0 . Предположим, что средняя скорость потока постоянная, а турбулентность однородная, т. е. $D_x = D = const$.

Исходя из условия, что $\rho_{см} = \rho_1$ при $x = 0$ и $\rho_{см} = \rho$ при $x = l$ (где ρ_1 — плотность сточных вод; l — расстояние от начала выпуска до створа полного смешения), для функции $\rho(x)$ принимаем зависимость:

$$\rho_{см}(x) = \rho + (\rho_1 - \rho)e^{-\beta x} \quad (24)$$

где

$$\beta = \sqrt{\left[\frac{g}{(2D)}\right]^2 + \frac{k}{D} - \frac{g}{(2D)}}$$

Для решения поставленной задачи принимаем следующие граничные условия:

$$C = C_0 \text{ при } x = 0; \quad C = \left(\frac{100}{P} - 1\right)C_0 \quad \text{при } x = l \quad (25)$$

где C_0 — начальная средняя (максимальная) по сечению концентрация загрязнений; C_1 — допустимая концентрация после $P\%$ -ного смешения. Подставляя зависимость (24) в уравнение (23), получим:

$$g \frac{d}{dx} \left\{ \rho + (\rho_1 - \rho)e^{-\beta x} \right\} C = D \frac{d^2}{dx^2} \left\{ \rho + (\rho_1 - \rho)e^{-\beta x} \right\} C \pm k \left\{ \rho + (\rho_1 - \rho)e^{-\beta x} \right\} C = 0 \quad (26)$$

Если представить под дифференциальное выражение функции, зависящей от x , как $F(x)$, то уравнение (26) превращается в однородное дифференциальное уравнение второго порядка с постоянными коэффициентами:

$$\frac{d^2 F}{dx^2} - \frac{g}{D} \frac{dF}{dx} - \frac{k}{D} F = 0$$

Решая характеристическое уравнение $\lambda^2 - \frac{g}{D} \lambda - \frac{k}{D} F = 0$, получим:

$$\lambda_{1,2} = \frac{g}{2D} \pm \sqrt{\left[\frac{g}{(2D)}\right]^2 + \frac{k}{D}}$$

Таким образом, решение уравнения будет иметь вид:

$$F = C_1 e^{\lambda_1 x} + C_2 e^{\lambda_2 x} \quad (27)$$

Исходя из того, что значение

$$\lambda_2 = \frac{g}{2D} + \sqrt{\left[\frac{g}{(2D)}\right]^2 + \frac{k}{D}}$$

нарушает физику процесса, так как вдоль потока концентрация должна увеличиваться, вторым членом в формуле (27) пренебрегаем. Подставляя в формулу (26) $F = [\rho + (\rho_1 - \rho)e^{-\beta x}]C$ и учитывая сказанное выше, получим:

$$[\rho + (\rho_1 - \rho)e^{-\beta x}]C = C_1 e^{-\beta x}$$

Или

$$C(x) = \frac{C_1 e^{-\beta x}}{[\rho + (\rho_1 - \rho_0)e^{-\beta x}]} \quad (28)$$

Определив из условий (25) $C_1 = \rho_1 S_0$ и подставляя это значение в формулу (28), получим:

$$C(x) = \frac{\rho_1 C_0 e^{-\beta x}}{[\rho + (\rho_1 - \rho_0)e^{-\beta x}]} \quad (29)$$

По формуле (29) можно найти концентрацию загрязнения на любом удалении от начала выпуска с учетом разности плотностей речной и сточной воды.

*Определение длины пути распределение коллекторной воды
 в канале и их полное смешение*

В теории смешения сточной воды с водой водотока важное значение имеет отыскание створа полного смешения. Из формулы (29) можно определить расстояние до створа $P\%$ -ного смешения, задаваясь условием (25) и учитывая, что

$$C_0(x) = \frac{(C_{cm} q_{cn} + C_p q_p)}{(q_{cm} + Q_p)} \quad (30)$$

где q_{cm}, Q_p — расход сточной и речной воды; C_p — фоновая концентрация; C_{cm} — концентрация сточных вод.

Подставляя выражение (30) в уравнение (29) и учитывая условие (25), после несложных преобразований получим:

$$l = \frac{2,3}{\beta} \lg \left[\frac{\rho_1 (q_{cm} + Q_p) C_{cm}}{\rho \left(\frac{100}{P} - 1 \right) (C_p Q_p + C_{cm} q_{cm})} - \frac{\rho_1 - \rho}{\rho} \right] \quad (31)$$

Исходя из того, что

$$\frac{\rho_1 - \rho}{\rho} \leq \left[\frac{\rho_1 \frac{(q_{cm} + Q_p) C_{cm}}{\rho \left(\frac{100}{P} - 1 \right) (C_p Q_p + C_{cm} q_{cm})}}{\rho} \right]$$

формулу (31) можно представить в виде:

$$l = \frac{2,3}{\beta} \lg \left[\frac{\rho_1 \frac{(q_{cm} + Q_p) C_{cm}}{\rho \left(\frac{100}{P} - 1 \right) (C_p Q_p + C_{cm} q_{cm})}}{\rho} \right] \quad (32)$$

При $S_p = 0$ и $P = 85\%$ формула (32) принимает более простой вид:

$$l = \frac{2,3}{\beta} \lg \left[\frac{5,68 \rho_1 \cdot (q_{cm} + Q_p)}{\rho q_{cm}} \right]$$

По этой формуле можно определить длину пути 85%-ного смешения.

В Таблице 2 приведены результаты подсчета по формуле (32) без учета и с учетом разности плотностей при $q_{cm} = 3 \frac{M^3}{c}$, там же приведены данные, подсчитанные по формуле И. Д. Родзиллера.

Результаты подсчета по формуле (32) без учета и с учетом разности плотностей при $q_{cm} = 3 \frac{M^3}{c}$, и сравнение результатов данными, подсчитанные по формуле И. Д. Родзиллера.

Таблица 2.

ДЛИНА ПУТИ СМЕШЕНИЯ, м, (рассчитанная)

$Q, \frac{M^3}{c}$	H_{cp}, M	$g, \frac{M}{c}$	Длина пути смешения, м, рассчитанная			
			по формуле (31)			по формуле И. Д. Родзиллера
			без учета $\Delta\rho$	При $\Delta\rho < 0$	При $\Delta\rho > 0$	
608	2	1,74	14594	13134,6	16053,4	14160,7
313	1,6	1,1	20147,3	18132,8	22161,8	16844,4
266	1,65	1,14	19479,2	19531,9	21479,2	14345,7
129	1,1	0,74	26680,7	24048	29348	21024,6

Вывод

Следует отметить, что при выпуске сточных под с большей плотностью, чем плотность речной воды, обычно пренебрегают частью области загрязнения, а при $\rho_{cm} < \rho$, наоборот, — областью без загрязнения. Поэтому учет разности плотностей при определении зоны загрязнения является необходимым. Из Таблицы 2 следует, что область загрязнения достигает своего максимума при $\Delta\rho > 0$.

Список литературы:

1. Мурадов Р. А. Водопользование в условиях дефицита оросительной воды // Вестник ТашГТУ. 2010. №1-2. С. 164-168.
2. Мурадов Р. А. Некоторые вопросы эффективного использования земель в АВП при дефиците водных ресурсов // IX междунаrodn. научн.-практич. конфер. «Аграрная наука - сельскому хозяйству». Барнаул: АлтайГАУ, 2014. С. 460-462.
3. Мурадов Р. А., Хожиев А. А. Оптимальное решение промывных норм при дефиците оросительной воды // Агро илм. 2017. №5 (49). С. 83-84.
4. Ibragimov A. G., Durmanov A. S. Issues of the development of competitiveness and the prospects of specialization in rice farms // SAARJ Journal on Banking & Insurance Research. 2017. V. 6. №5. P. 14-19. DOI: 10.5958/2319-1422.2017.00021.2.
5. Дурманов А. Ш., Хидирова М. Х. Меры по увеличению объемов экспорта плодоовощной продукции // Economics. 2017. №9 (30). С. 30-34.
6. Хамидов А. А., Худайкулов С. И., Махмудов И. Э. Гидромеханика. Ташкент: ФАН, 2008. 140 с.
7. Умаров С. Р. Сув хўжалигини инновацион ривожлантириш ва уни кўллаб-куватлашнинг асосий йўналишлари // Иқтисодиёт ва инновацион технологиялар. 2017. №1. Режим доступа: <https://goo.gl/eEHSJK>.
8. Хамидов М. Х., Суванов Б. У. Экономия водных ресурсов при орошении хлопчатника с помощью применения полимерных комплексов // Бюллетень науки и практики. 2018. Т. 4. №7. С. 153-159. Режим доступа: <http://www.bulletennauki.com/khamidov> (дата обращения 15.07.2018). DOI: 10.5281/zenodo.1312192.
9. Исаев С. Х., Жуманов А. Математическое моделирование процессов накопления осадков и орошения ими горных и предгорных земель // Бюллетень науки и практики. 2018. Т. 4. №7. С. 160-165. Режим доступа: <http://www.bulletennauki.com/isaev-s> (дата обращения 15.07.2018). DOI: 10.5281/zenodo.1312196.
10. Лапшев Н. Н. Гидравлика. М.: Академия, 2010. 272 с.
11. Гиргидов А. Д. Механика жидкости и газов (гидравлика). СПб: Изд-во СПбГТУ, 2002. 545 с.

References:

1. Muradov, R. A. (2010). Water use in conditions of deficit of irrigation water. *Bulletin of the Tashkent State Technical University*, (1-2), 164-168.
2. Muradov, R. A. (2014). Some issues of effective land use in the WUA in case of water resources shortage. In: *Agrarian Science for Agriculture. Proceeding IX international. scientific-practical conference. Barnaul, Altai State University, 460-462.* (in Russian).
3. Muradov, R. A., & Khozhiev, A. A. (2017). Optimal solution of washing norms in case of deficit of irrigation water. *Agro ilm*, (5), 83-84.
4. Ibragimov, A. G., & Durmanov, A. S. (2017). Issues of the development of competitiveness and the prospects of specialization in rice farms. *SAARJ Journal on Banking & Insurance Research*, 6(5), 14-19. doi:10.5958/2319-1422.2017.00021.2.
5. Durmanov, A. Sh., & Khidirova, M. H. (2017). Measures to increase the volume of exports of fruit and vegetable products. *Economics*, (9), 30-34. (in Russian).
6. Khamidov, A. A., Khudaykulov, S. I., & Makhmudov, I. E. (2008). *Hydromechanics*. Tashkent, FAN, 140.
7. Umarov, S. R. (2017). Innovative development and main directions of water management. *Economy and Innovative Technologies*, (1). Available at: <https://goo.gl/eEHSJK>. (in Uzbek).

8. Khamidov, M., & Suvanov, B. (2018). Economy of water resources in irrigation of a cotton with the use of polymeric complexes. *Bulletin of Science and Practice*, 4(7), 153-159. doi:10.5281/zenodo.1312192. (in Russian).

9. Isaev, S., & Jumanov, A. (2018). Mathematical modelling of the processes of accumulation of precipitation and irrigation of mountain and piedmont lands. *Bulletin of Science and Practice*, 4(7), 160-165. doi:10.5281/zenodo.1312196. (in Russian).

10. Lapshev, N. N. (2010). *Hydraulics*. Moscow, Akademiya, 272. (in Russian).

11. Girgidov, A. D. (2002). *Mechanics of liquids and gases (hydraulics)*. St. Petersburg, SPbSTU, 545.

*Работа поступила
в редакцию 07.08.2018 г.*

*Принята к публикации
11.08.2018 г.*

Ссылка для цитирования:

Кувватов Д. А. Процессы, протекающие в водотоках после сброса в них загрязнений // Бюллетень науки и практики. 2018. Т. 4. №9. С. 149-161. Режим доступа: <http://www.bulletennauki.com/kuvvatov> (дата обращения 15.09.2018).

Cite as (APA):

Kuvvatov, D. (2018). Processes arising in water flows after the disturbance of the contamination. *Bulletin of Science and Practice*, 4(9), 148-160.