

# **ЭКОЛОГИЯ**

*Методические указания к практическим работам  
для студентов бакалавриата направления 12.03.01*

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ  
2021**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
Санкт-Петербургский горный университет

Кафедра геоэкологии

# ЭКОЛОГИЯ

*Методические указания к практическим работам  
для студентов бакалавриата направления 12.03.01*

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ  
2021

УДК 504.05 (073)

**ЭКОЛОГИЯ:** Методические указания к практическим работам / Санкт-Петербургский горный университет. Сост.: *Н.В. Джевага, А.В. Мысин* СПб, 2021. 57 с.

Изложены методики расчета загрязнения атмосферы выбросами одиночных источников и передвижных источников, кратности разбавления сточных вод при сбросе в водоток, основы работы с инженерно-экологической картой. Практические работы предназначены для студентов направления подготовки 12.03.01 «Приборостроение».

Научный редактор проф. *М.А. Пашкевич*

Рецензенты канд. геогр. наук *Д.К. Алексеев* (ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет»)

© Санкт-Петербургский  
горный университет, 2021

## **ЭКОЛОГИЯ**

***Методические указания к практическим работам  
для студентов бакалавриата направления 12.03.01***

Сост.: *Н.В. Джевага, А.В. Мысин*

Печатается с оригинал-макета, подготовленного кафедрой  
геоэкологии

Ответственный за выпуск *Н.В. Джевага*

Лицензия ИД № 06517 от 09.01.2002

Подписано к печати 17.05.2021. Формат 60×84/16.  
Усл. печ. л. 3,3. Усл.кр.-отг. 3,3. Уч.-изд.л. 3,0. Тираж 75 экз. Заказ 412.

Санкт-Петербургский горный университет  
РИЦ Санкт-Петербургского горного университета  
Адрес университета и РИЦ: 199106 Санкт-Петербург, 21-я линия, 2

## **ВВЕДЕНИЕ**

Учебная дисциплина «Экология» является ключевой в процессе приобретения обучающимися знаний о методах расчета количеств загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу с различными видами выбросов газозвоздушных смесей и гидросферу со сбросами сточных вод.

В методических указаниях к практическим занятиям представлены методики расчета загрязнения атмосферы выбросами одиночных источников и передвижных источников, кратности разбавления сточных вод при сбросе в водоток, допустимых условий сброса сточных вод в водоем, а также сведения об основах работы с инженерно-экологической картой. При успешном освоении материала указанных методов будет возможно выполнить анализ состояния компонентов окружающей среды, что в дальнейшем позволит произвести оценку и прогноз состояния природной среды на локальном уровне.

По итогам выполнения практических работ по дисциплине «Экология» будет возможно установить закономерности поступления загрязняющих веществ в атмосферу и гидросферу, их возможное негативное воздействие на человека и биоту.

Выполнение практических работ является одним из видов промежуточной оценки знаний студентов, полученных в результате изучения дисциплины «Экология».

Практические работы выполняются индивидуально каждым студентом на основании исходных данных. Результат выполнения каждой практической работы оформляется в виде отчета, который подлежит защите руководителю практических занятий в индивидуальном порядке.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1

### Определение условий поступления загрязняющих веществ в атмосферный воздух

**Цель:** изучить путем выполнения конкретного расчета методику определения параметров загрязнения воздушного бассейна от одиночных точечных источников на предприятии.

#### 1.1 Рассеивание выбросов в атмосферном воздухе

подавляющее количество загрязняющих веществ, образующихся в производственных процессах на предприятиях, отводится в атмосферу через специально сооруженные вентиляционные шахты, дымовые трубы и газоходы. В практической охране окружающей среды эти устройства называют стационарными источниками выбросов. Как правило, отходящее вредное вещество поступает в атмосферу в составе общего газового потока, большая часть состава которого не является загрязнением. Температура газового потока, поступающего из источника выброса, может быть выше, равна или ниже температуры воздуха. По этому признаку выбросы делятся на нагретые и холодные. В общем случае выбросы стараются вывести на значительную высоту с тем, чтобы за счет перемешивания с наружным воздухом и рассеиванием вредного вещества на большую площадь добиться незначительных его концентраций в приземной зоне.

В зависимости от высоты  $H$  устья над поверхностью земли источники делятся на следующие четыре класса:

- высокие источники ( $H \geq 50$  м);
- источники средней высоты ( $H = 10 \div 50$  м);
- низкие источники ( $H = 2 \div 10$  м);
- наземные источники ( $H \leq 2$  м).

Обезвреживание промышленных выбросов производится обычно двумя путями: очисткой выброса в газоочистной установке и рассеиванием остатков в атмосфере. При этом возникает сложная технико-экономическая проблема, суть которой состоит в том, чтобы найти оптимум между степенью очистки и эффектом рассеивания, обусловленным, прежде всего, высотой источника выброса.

После выхода из устья трубы факел выброса подпадает под действие множества факторов, важнейшими из которых являются следующие [1]: характеристики выброса и источника выброса (состав выброса, высота трубы, скорость и температура факела на выходе из устья); показатели подвижности атмосферы (температурная стратификация, турбулизация, скорость и направление ветра), а также наличие осадков и температура окружающего воздуха. Основной эффект рассеивания обусловлен диффузионными процессами, которые как бы размывают факел по мере его удаления от источника выброса. Концентрация вредного вещества на выходе из трубы и далее в самом факеле намного выше предельно допустимой концентрации (ПДК) [2], но непосредственно у основания источника выброса (трубы) в приземном слое концентрация вредного вещества незначительна, ибо выброс вводится внутрь трубы, а возможные протечки относятся воздушными потоками. По мере удаления от источника с увеличением расстояния ( $X$ ) до него загрязняющее вещество будет постепенно увеличиваться по концентрации в приземном слое (под ним обычно понимают высоту 2 м от поверхности земли) вследствие опережения скорости осаждения вещества к поверхности земли из факела выброса интенсивности рассеивания. В результате, с увеличением расстояния от источника концентрация загрязняющих веществ у поверхности земли будет расти, достигая максимального значения ( $C_m$ ), на некотором расстоянии ( $X_m$ ), при этом в большинстве случаев  $C_m \gg$  ПДК. Далее, благодаря турбулентной диффузии и увеличению площади поверхности осаждения, уже рассеивание начинает опережать накопление, и приземная концентрация загрязняющего вещества постоянно снижается с увеличением  $X$ .

График зависимости приземной концентрации загрязняющего вещества от расстояния (рис. 1.1) представляет собой плавную кривую, имеющую круто восходящую ветвь роста концентрации от 0 до  $C_m$  в диапазоне изменения расстояния от 0 до  $X_m$ , и нисходящую ветвь, причем последняя содержит участок резкого падения приземной концентрации с ростом расстояния от  $X_m$  до  $8 \cdot X_m$  и плавного ее снижения на расстояниях, превышающих

(8·Хм). Такое распределение загрязнений характерно для всех стационарных источников.

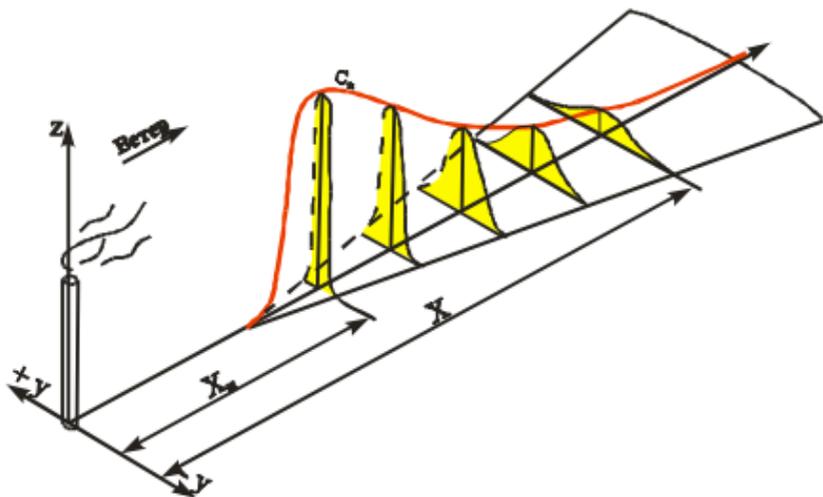


Рис. 1.1. Распределение приземной концентрации загрязняющего вещества в атмосфере по оси факела выброса от одиночного источника выброса

При выполнении расчетов по рассеиванию вредных веществ в атмосфере на практике решаются следующие задачи: определяется приземная концентрация вредного вещества при известном количестве выбрасываемых в атмосферу веществ и параметрах источника выброса; определяется необходимая высота источника выброса (трубы) по заданному расстоянию от населенного пункта (при проектировании); определяется величина предельно допустимого выброса вредного вещества существующего источника (контрольный расчет или при изменении внешних обстоятельств, например, при попадании объекта в зону жилищной застройки). Также расчеты проводятся при изменении мощности выброса, произошедшего вследствие изменений технологических процессов, ответственных за образование выброса, или при внедрении газоочистных установок.

В настоящее время все расчеты по рассеиванию вредных веществ в атмосфере выполняются по методам расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе от 15.08.2017г.(ММР-17) [3].

## 1.2 Расчет загрязнения атмосферы выбросами одиночных источников

### 1.2.1 Определение максимального значения приземной концентрации вредного вещества нагретого выброса

Величина максимальной приземной концентрации вредного вещества  $C_m$  (мг/м<sup>3</sup>) для выброса нагретой газовой смеси из одиночного источника при неблагоприятных метеорологических условиях и скорости ветра, достигающей опасного значения  $u_m$  на расстоянии  $X_m$  от источника, определяется по формуле:

$$C_m = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta}{H^2 \cdot \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta T}} \quad (1.1)$$

Значение коэффициента  $A$  (температурной стратификации атмосферы), соответствующее неблагоприятным метеорологическим условиям, при которых концентрация вредных веществ в атмосферном воздухе максимальна, принимается равным:

250 – для районов Бурятии и Читинской области;

200 – для Европейской территории России (ЕТР): для районов южнее 50° с.ш., для остальных районов Нижнего Поволжья, Кавказа, Дальнего Востока и остальной территории Сибири;

180 – для ЕТР и Урала от 50 до 52° с.ш., за исключением попадающих в эту зону перечисленных выше районов;

160 – для ЕТР и Урала севернее 52° с.ш. (за исключением центра ЕТР);

140 – для Московской, Тульской, Рязанской, Владимирской, Калужской, Ивановской областей.

Значения мощности выброса ( $M$ ) и расхода газовой смеси ( $V_1$ ) при проектировании предприятий определяются расчетом в технологической части проекта или принимаются в соответствии с действующими для данного производства (процесса) нормативами.

В расчете принимаются сочетания  $M$  и  $V_1$ , реально имеющие место в течение года при установленных (обычных) условиях эксплуатации предприятия, при которых достигается максимальное значение  $C_m$ . Причем, значение  $M$  следует относить к 20 – 30 минутному периоду осреднения.

Значение безразмерного коэффициента  $\eta$ , учитывающего влияние рельефа местности в случае ровной или слабопересеченной местности с перепадом высот, не превышающим 50 м на 1 км, принимается равным единице ( $\eta=1$ ).

Величины коэффициента  $F$  имеют следующие значения:

а)  $F = 1$  для газообразных веществ и тонкодисперсных аэрозолей;

б)  $F = 2$  для грубодисперсных аэрозолей, пыли и золы при отсутствии очистки или при эффекте очистки газов менее 75 %;

в)  $F = 2,5$  при эффекте очистки, лежащем в пределах от 75 до 90 %;

г)  $F = 3$  для грубодисперсных аэрозолей, пыли и золы при эффекте очистки газов  $\geq 90$  %.

Расход выходящей в атмосферу в единицу времени газовой смеси  $V_1$  (м<sup>3</sup>/с) определяется по формуле:

$$V_1 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \omega_0, \quad (1.2)$$

где  $\omega_0$  - средняя скорость (м/с) выхода газовой смеси из источника выброса.

Разность температур (°C) газовой смеси и наружного воздуха определяется по формуле:

$$\Delta T = T_2 - T_в, \quad (1.3)$$

где  $T_2$  - температура газовой смеси.

Значения коэффициентов  $m$  и  $n$  определяются как функции вспомогательных величин  $f$ ,  $v_m$ ,  $v_m'$  и  $f_e$ :

$$f = 1000 \frac{\omega_0^2 \cdot D}{H^2 \cdot \Delta T}; \quad (1.4)$$

$$\nu_m = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{V_1 \cdot \Delta T}{H}}; \quad (1.5)$$

$$\nu_m' = 1,3 \cdot \frac{\omega_0 \cdot D}{H}; \quad (1.6)$$

$$f_e = 800 \cdot (\nu_m')^3. \quad (1.7)$$

Коэффициент  $m$  определяется в зависимости от  $f$  по формуле:

- при  $f < 100$

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{f} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{f}}; \quad (1.8)$$

- при  $f \geq 100$

$$m = \frac{1,47}{\sqrt[3]{f}}. \quad (1.9)$$

Но! Если  $f_e < f < 100$  значение коэффициента  $m$  вычисляется при  $f = f_e$ .

Коэффициент  $n$  определяется в зависимости от значения  $\nu_m$  по формулам:

$$\left[ \begin{array}{ll} n = 4,4 \cdot \nu_m & \text{при } \nu_m < 0,5 \\ n = 0,532 \cdot \nu_m^2 - 2,13 \cdot \nu_m + 3,13 & \text{при } 0,5 \leq \nu_m < 2 \\ n = 1 & \text{при } \nu_m \geq 2 \end{array} \right. \quad (1.10)$$

Расстояние  $X_m(m)$  от одиночного источника выбросов, на котором наблюдается максимальная приземная концентрация  $C_m$ , определяется по формуле:

$$X_m = \frac{5 - F}{4} \cdot d \cdot H, \quad (1.11)$$

где безразмерный коэффициент  $d$  находится по формулам:

$$\left[ \begin{array}{ll} d = 2,48 \cdot (1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{f_e}) & \text{при } v_m \leq 0,5 \\ d = 4,95 \cdot v_m \cdot (1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{f}) & \text{при } 0,5 < v_m \leq 2 \\ d = 7 \cdot \sqrt{v_m} \cdot (1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{f}) & \text{при } v_m > 2 \end{array} \right. \quad (1.12)$$

Значение опасной скорости ветра  $u_m$  (м/с) на уровне флюгера (обычно 10 м от уровня земли), при которой наблюдается максимальная приземная концентрация вредных веществ, в случае  $f < 100$ , определяется по формулам:

$$\left[ \begin{array}{ll} u_m = 0,5 & \text{при } v_m \leq 0,5 \\ u_m = v_m & \text{при } 0,5 < v_m \leq 2 \\ u_m = v_m \cdot (1 + 0,12 \cdot \sqrt{f}) & \text{при } v_m > 2 \end{array} \right. \quad (1.13)$$

### 1.2.2 Определение максимального значения приземной концентрации вредного вещества холодного выброса

К холодным относятся выбросы, имеющие температуру ниже или равную температуре наружного воздуха ( $\Delta T=0$ ). Для таких выбросов значения безразмерных коэффициентов  $A$ ,  $F$ , учитывающих местные условия выброса и осаждаемость загрязнений, определяются аналогично случаю нагретых выбросов (см. разд. 1.2.1.).

Для  $f \geq 100$  (или  $\Delta T = 0$ ) и  $v_m' \geq 0,5$  для расчета максимального значения приземной концентрации загрязняющего вещества  $C_m$  вместо формулы (1.1) используется формула:

$$C_m = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot n \cdot \eta}{H^{4/3}} \cdot K, \quad (1.14)$$

где  $K = \frac{D}{8 \cdot V_1}$ .

Значение безразмерного коэффициента  $n$  определяется в зависимости от значения коэффициента  $v_m'$  по формулам:

$$\left[ \begin{array}{ll} n = 4,4 \cdot v_m' & \text{при } v_m' < 0,5 \\ n = 0,532 \cdot v_m'^2 - 2,13 \cdot v_m' + 3,13 & \text{при } 0,5 \leq v_m' < 2. \\ n = 1 & \text{при } v_m' \geq 2 \end{array} \right. \quad (1.15)$$

Аналогично, при  $f < 100$  и  $v_m < 0,5$  или при  $f \geq 100$  и  $v_m' < 0,5$  расчет  $C_m$  производится по формуле:

$$C_m = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m' \cdot \eta}{H^{7/3}}. \quad (1.16)$$

Значение коэффициента  $m'$  определяется в зависимости от параметров  $f$ ,  $v_m$  и  $v_m'$  по формулам:

$$\left. \begin{array}{ll} m' = 2,86 \cdot m & \text{при } f < 100, v_m < 0,5 \\ m' = 0,9 & \text{при } f \geq 100, v_m' < 0,5 \end{array} \right\} \quad (1.17)$$

Расстояние  $X_m$  от источника холодных выбросов, на котором приземная концентрация достигает максимального значения  $C_m$ , при неблагоприятных метеорологических условиях определяется по формуле (1.11), где безразмерный коэффициент  $d$  при  $f > 100$  или  $\Delta T = 0$  находится по формулам:

$$\left[ \begin{array}{ll} d = 5,7 & \text{при } v_m' \leq 0,5 \\ d = 11,4 \cdot v_m' & \text{при } 0,5 < v_m' \leq 2. \\ d = 16\sqrt{v_m'} & \text{при } v_m' > 2 \end{array} \right. \quad (1.18)$$

Опасная скорость ветра  $u_m$  при  $f \geq 100$  или  $\Delta T = 0$  вычисляется по формулам:

$$\left[ \begin{array}{ll} u_m = 0,5 & \text{при } v_m' \leq 0,5 \\ u_m = v_m' & \text{при } 0,5 < v_m' \leq 2. \\ u_m = 2,2 \cdot v_m' & \text{при } v_m' > 2 \end{array} \right. \quad (1.19)$$

В остальном расчет рассеивания вредных веществ для холодных выбросов производится так же, как для нагретых.

### 1.2.3 Определение величины предельно допустимого выброса (ПДВ)

Значение предельно допустимого выброса устанавливается для условий полной нагрузки технологического и газоочистного оборудования и их нормальной работы. ПДВ не должны превышать в любой 20-минутный период работы. ПДВ определяется для каждого вещества отдельно, в том числе и в случае суммации вредного действия нескольких веществ. При установлении ПДВ учитываются фоновые концентрации загрязняющего вещества  $C_{\phi}$ .

ПДВ устанавливаются отдельно для каждого источника выброса, не являющегося мелким. К мелким источникам выбросов относятся такие, для каждого из которых выполняется хотя бы одно из условий:

$$C_m / ПДК_{m,p} < 0,2; \quad (1.20)$$

$$(C_m \cdot X_m) / ПДК_{m,p} \leq 120. \quad (1.21)$$

Для мелких источников выбросов устанавливаются единые ПДВ от их совокупностей с предварительным объединением группы источников в более мощный. Ниже приведены зависимости для определения ПДВ источников выбросов, не являющихся мелкими.

Для нагретых выбросов вредного вещества в атмосферу ПДВ(г/с) из одиночного источника с круглым устьем в случаях  $C_{\phi} < ПДК$  или нахождения точки  $X_m$  в населенном пункте определяется по формуле:

$$ПДВ = \frac{(ПДК_{m,p} - C_{\phi}) \cdot H^2}{A \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta} \cdot \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta T}. \quad (1.22)$$

Для холодных выбросов вредного вещества в атмосферу ПДВ (г/с) из одиночного источника с круглым устьем в случае  $f \geq 100$  или  $\Delta T = 0$  или нахождения точки  $X_m$  в населенном пункте определяется по формуле:

$$ПДВ = \frac{(ПДК_{м.р} - C_{\phi}) \cdot H^{4/3}}{A \cdot F \cdot n \cdot \eta} \cdot \frac{8 \cdot V_1}{D}. \quad (1.23)$$

### 1.2.4 Контрольные задания и указания по их выполнению.

Вариант исходных данных для выполнения задания студентам задается преподавателем в виде двузначного числа. Первая цифра этого числа обозначает номер подварианта части I задания (табл.1.1), а вторая цифра обозначает номер подварианта части II задания (табл.1.2).

Таблица 1.1

Исходные данные для выполнения расчета часть I

Характеристика источника выброса вредных веществ	Обозначение	Единицы измерения	Варианты						
			0	1	2	3	4	5	6
Мощность выброса	М	г/с	68	24	15	12	5	160	34
Выбрасываемое вещество №1	-	-	Диоксид серы	Сажа	Фенол	Оксиды азота	Сероводород	Пыль органич.	Аммиак
Объемный расход смеси	V <sub>1</sub>	м <sup>3</sup> /с	3,4	2,8	4,1	2,4	3,3	7	2,6
Высота источника выброса	Н	м	38	42	28	56	48	31	29
Температура выбрасываемых газов	Т	°С	130	150	110	210	120	110	130
Диаметр устья источника выброса	D	м	0,7	0,5	0,9	0,5	0,7	1,0	0,6

Окончание табл. 1.1

Характеристика источника выброса вредных веществ	Обозначение	Единицы измерения	Варианты						
			0	1	2	3	4	5	6
Расстояние до населенного пункта	$X_n$	м	300	400	900	850	780	690	990
Максимальная разовая допустимая концентрация	ПДК	мг/м <sup>3</sup>	0,5	0,15	0,01	0,085	0,008	0,5	0,2
Температура воздуха в летний период	$T_v$	°С	18	22	17	24	17	19	23

Таблица 1.2

Исходные данные для выполнения расчета часть II

Характеристика источника выброса вредных веществ	Обозначение	Единицы измерения	Варианты						
			0	1	2	3	4	5	6
Местонахождение источника выброса	-	-	Омск	Москва	Пермь	Волгоград	Северодвинск	Курск	Улан-Удэ

Окончание табл. 1.2

Характеристика источника выброса вредных веществ	Обозначение	Единицы измерения	Варианты						
			0	1	2	3	4	5	6
Степень очистки ГВС	-	%	76	66	69	71	80	95	90
Выбрасываемое вещество №2	-	-	Сульфид углерода	Формальдегид	Пыль нетоксичная	Оксид углерода	Диэтиламин	Метанол	Хлор
Мощность выброса	М	г/с	4	15	110	74	5	30	1,4
Максимальная разовая допустимая концентрация	ПДК	мг/м <sup>3</sup>	0,03	0,035	0,5	5,0	0,05	1	0,1
Объемный расход смеси	V <sub>1</sub>	м <sup>3</sup> /с	2,1	3,2	4,8	2,1	3,4	6,8	1,6
Высота источника выброса	Н	м	35	54	28	61	45	18	23
Температура выбрасываемых газов	Т	°С	15	18	16	12	17	16	19
Диаметр устья источника выброса	D	м	0,5	0,8	0,6	1,4	0,7	0,6	0,7

## **ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2**

### **Расчет величины выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от передвижных источников**

**Цель:** Изучить путем конкретного расчета методику определения параметров выбросов загрязняющих веществ (ЗВ) при эксплуатации автомобилей.

#### **2.1 Общие теоретические сведения**

Спецификой работы автотранспортного подразделения пищевого предприятия являются переменные режимы эксплуатации автотранспорта на территории, а также нерегулярный характер собственно транспортных операций (подвоз сырья и вывоз готовой продукции), подчиненных основному производству. Натурные измерения поступления загрязняющих веществ от двигателей транспортных средств в атмосферный воздух невозможны по объективным причинам. Поэтому оценка поступлений загрязнений от них производится расчетным способом с помощью нормативной методики [4] по удельным показателям выделения загрязняющих веществ в различных режимах эксплуатации автотехники.

Эксплуатация автотранспорта на территории предприятия связана с небольшими пробегами и увеличенными простоями при работающем двигателе и включает в себя следующие характерные режимы его работы: прогрев двигателя, работу двигателя на холостом ходу, работу двигателя при въезде и выезде с территории. Образование загрязняющих веществ зависит от типа двигателя внутреннего сгорания (ДВС), марки топлива, длины пробега при въезде и выезде с территории и температуры наружного воздуха.

Работающий автотранспорт образует на территории предприятия совокупность низких неорганизованных источников выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух.

Расчет выбросов загрязняющих веществ выполняется для семи загрязняющих веществ: оксида углерода – CO, углеводородов – CH, окислов азота – NO<sub>x</sub>, в пересчете на оксид азота – NO и на диоксид азота – NO<sub>2</sub>, твердых частиц сажи – C, соединений серы в пересчете на диоксид серы – SO<sub>2</sub> и соединений свинца Pb.

При этом не учитывается образование особо токсичных веществ, которые могут присутствовать в выхлопных газах двигателей (например, бенз(а)пирена и пр.).

## **2.2 Автотранспорт как источник загрязнения атмосферного воздуха**

В настоящее время автотранспорт в России динамично развивается. Наблюдается рост числа автомобилей, используемых в производственных целях и для личных нужд граждан, происходит увеличение объемов грузоперевозок. Соответственно происходит рост количества загрязнений, поступающих в атмосферный воздух в составе выхлопных газов автомобилей. Это особенно заметно на фоне резкого сокращения выбросов стационарных источников, вызванного падением промышленного производства, а также усилением природоохранной деятельности. Например, если в 1987 г. в Санкт-Петербурге на долю автотранспорта приходилось 58,8 % всех выбросов загрязняющих веществ, то в 2015 г. этот показатель возрос до 86 % (в 2015 г. валовый выброс загрязнений в Санкт-Петербурге составил 522,8 тыс. т, в том числе 75,0 тыс. т – от стационарных источников и 447,8 тыс. т – от автотранспорта) [5].

Автотранспорт как источник загрязнений обладает целым рядом особенностей, которые резко отличают его от стационарных источников.

К этим особенностям можно отнести следующие:

1. Автомобильный транспорт является в наименьшей степени управляемым и в то же время основным фактором загрязнения атмосферы.

2. Выбросы автотранспорта происходят в приземной зоне и опасны тем, что распространяются на уровне дыхания, что способствует непосредственному их воздействию на организм человека.

3. Содержащиеся в отработанных газах загрязняющие вещества (первичные загрязнители) под влиянием внешних факторов способны образовывать в воздухе более токсичные соединения (вторичные загрязнители). Окислы азота  $\text{NO}_x$ , которые всегда присутствуют в продуктах сгорания топлива, под действием солнечного света могут диссоциировать с образованием атомарного

кислорода  $O$  и озона  $O_3$ . Последние способны вступать в химические связи с несгоревшим топливом  $CH$ , которое также содержится в выхлопных газах автомобилей, что приводит к образованию свободных радикалов ( $RO^*$ ,  $HCO^*$ ,  $ROO^*$ ), альдегидов, кетонов, пероксидов и других загрязнителей. При определенных условиях (малоподвижном воздухе, высокой концентрации продуктов сгорания топлива) выхлопные газы автотранспорта являются причиной возникновения фотохимического смога.

4. Состав выброса автотранспорта изменяется в широких пределах в зависимости от ряда факторов, к которым в первую очередь относятся: тип и конструкция двигателя; техническое состояние двигателя и регулировка его работы; вид и марка используемого топлива; режим работы двигателя, обусловленный режимом эксплуатации автомобиля.

Так, например, неконтролируемые эксплуатационные отклонения в двигателях могут сопровождаться ростом выбросов оксидов углерода  $CO$  на 45, углеводородов  $CH$  на 55, дымности отработавших газов на 50 %.

Снижение поступления загрязняющих веществ от каждой единицы автотранспортных средств, находящихся в эксплуатации, может быть достигнуто следующими путями:

- повышением требования к качеству топлив и горюче-смазочных материалов;
- введением контроля содержания  $CO$ ,  $CH$ ,  $NO_x$  и дымности отработавших газов на различных стадиях обслуживания и при проверках автотранспорта;
- оснащением автомобилей дополнительными системами обработки выхлопа.

### **2.3 Расчет токсичных выбросов в атмосферу при эксплуатации автомобилей**

В данной расчетной работе определяют мощность эмиссии загрязняющих веществ  $qi$  [ $mg/m \cdot c$ ], рассчитывают концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе на различном расстоянии от дороги  $C$  [ $mg/m^3$ ], строятся графики зависимости изменения концентрации  $ЗВ$  при удалении от кромки дороги  $l$  [ $m$ ].

Основными токсичными компонентами отработавших газов двигателей внутреннего сгорания (ДВС) автотранспорта являются оксиды углерода, азота и углеводородов. Оценку уровня загрязнения воздушной среды отработавшими газами следует производить на основе расчета. Методика расчета включает поэтапное определение мощностей эмиссии (выбросов) отработавших газов и концентраций этих газов в воздухе на различном удалении от дороги, а затем сравнение полученных данных с ПДК данных веществ в атмосферном воздухе населенных пунктов. При расчете выбросов учитываются различные типы автотранспортных средств и конкретные дорожные условия.

### 2.3.1 Методика расчета токсичных выбросов в атмосферу

Расчет выполняют в следующей последовательности:

I. Определяют мощность эмиссии  $q_i$  [мг/м·с], загрязняющих веществ отдельно для каждого компонента (окиси углерода, оксидов азота, углеводородов) на конкретном участке дороги по формуле:

$$q_i = 0,206 \cdot m \cdot \left[ \sum (\sigma_{i\bar{\sigma}} \cdot N_{i\bar{\sigma}} \cdot K_{\bar{\sigma}}) + \sum (\sigma_{i\partial} \cdot N_{i\partial} \cdot K_{\partial}) \right], \quad (2.1)$$

где  $m$  - коэффициент, учитывающий дорожные и транспортные условия, принимается по графику на рис. 2.1 в зависимости от средней скорости транспортного потока  $V$ , км/ч;  $\sigma_{i\bar{\sigma}}$  - средний эксплуатационный расход топлива для данного типа бензиновых автомобилей, принимается по табл. 2.1, л/км;  $\sigma_{i\partial}$  - то же для дизельных автомобилей, л/км;  $N_{i\bar{\sigma}}$  - интенсивность движения каждого выделенного типа бензиновых автомобилей, авт./ч;  $N_{i\partial}$  - то же дизельных автомобилей, авт./ч;  $K_{\bar{\sigma}}$  и  $K_{\partial}$  - коэффициенты эмиссии, принимаемые для каждого компонента загрязнения: с бензиновыми и дизельными типами ДВС, соответственно, по таблице 2.2.

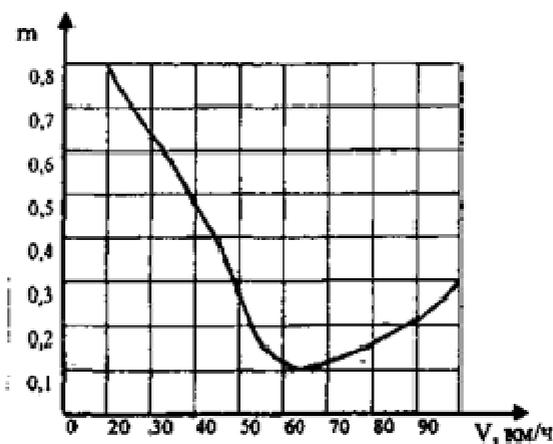


Рис. 2.1 Зависимость коэффициента  $m$  от средней скорости транспортного потока

Таблица 2.1

Средние эксплуатационные нормы расхода топлива в л/км пути

Тип автомобиля	Значение $G_i$ , л/км
1. Легковые автомобили бензиновые	0,11
2. Малые грузовые автомобили бензиновые (до 6 тонн)	0,16
3. Грузовые автомобили бензиновые (6 тонн и более)	0,33
4. Грузовые автомобили дизельные	0,34
5. Автобусы бензиновые	0,37
6. Автобусы дизельные	0,28

Таблица 2.2

Значение коэффициентов выброса

Вид выбросов	Тип ДВС	
	Бензиновый	Дизельный
Окись углерода	0,6	0,14
Углеводороды	0,12	0,037
Оксиды азота	0,06	0,015

2. Рассчитывают концентрации токсичных компонентов отработавших газов в атмосферном воздухе  $C_j$  [мг/м<sup>3</sup>], на различном

удалении от дороги  $l$ , используя модель Гауссового распределения примесей в атмосфере на небольших высотах, по формуле:

$$C_j = \frac{2 \cdot q_i}{\sqrt{2\pi} \cdot \sin \varphi \cdot V_{\text{в}} \cdot \sigma} + F_j, \quad (2.2)$$

где  $\sigma$  - стандартное отклонение Гауссового рассеивания в вертикальном направлении по табл. 2.3, м;  $V_{\text{в}}$  - скорость ветра, преобладающего в расчетный период 2,5 м/с,  $\varphi$  - угол, составляемый направлением ветра и трассе дороги (при угле менее  $30^\circ$  принять равным 0,5);  $F_j$  - фоновая концентрация загрязнения воздуха,  $\text{мг/м}^3$ .

Таблица 2.3

Значение стандартного Гауссового отклонения на различном удалении от кромки дороги в зависимости от состояния погоды

Состояние погоды	Величина $\sigma$ при удалении $l$ от кромки проезжей части, м								
	10	20	40	60	80	100	150	200	250
Солнечная	2	4	6	8	10	13	19	24	30
Дождливая	1	2	4	6	8	10	14	18	22

3. Результаты расчета сопоставляют с ПДК, установленными для токсичных составляющих отработавших газов тепловых двигателей в воздухе населенных мест, которые приведены в табл. 2.4.

Таблица 2.4

ПДК отработавших газов в воздухе для населенных мест

Вид вещества	Класс опасности	Среднесуточные ПДК, $\text{мг/м}^3$
Оксись углерода	4	3,0
Углеводороды	3	1,5
Оксиды азота	2	0,04

### 2.3.2 Задание для выполнения расчета параметров загрязнения

Определить уровни загрязнения атмосферного воздуха окисью углерода, оксидами азота и углеводородами в солнечную и дождливую погоду в расчетном поперечнике на расстояниях  $l$  от

кромки автомобильной дороги, указанных в табл. 2.6. Выбрать защитные мероприятия по снижению концентрации ЗВ в зоне жилой застройки, удаленной на расстояние  $l$ , м, от дороги, до допустимого уровня, если скорость господствующего ветра составляет 2,5 м/с. Значения фоновой концентрации  $F_j$  принять равным 35 % от ПДК.

Исходные данные для расчета приведены в табл. 2.6., а именно: интенсивность движения автотранспорта  $N$ , авт./ч; шифры типов автомобилей (1...6) соответствуют принятым в табл. 2.1; средняя скорость потока движения  $V$ , км/ч; угол направления ветра к оси трассы  $\varphi$ , град.

### **2.3.3 Методические указания по выполнению задания и анализу результатов расчета**

Перед началом выполнения задания студент должен внимательно изучить методику расчета токсичных выбросов при эксплуатации автомобилей, изложенную в подразделе 2.3.1.

При выполнении задания сначала он определяет мощность эмиссии каждого компонента ЗВ на конкретном участке дороги по формуле (2.1), а затем рассчитывает концентрации каждого компонента ЗВ на различном удалении от дороги в поперечном направлении и в зоне жилой застройки по формуле (2.2).

По полученным результатам студент строит графики загрязненности воздуха придорожной зоны токсичными компонентами отработавших газов и сравнивает их с величинами ПДК (табл. 2.4). С помощью этих графиков он определяет концентрации ЗВ и на границе жилой застройки. В случае превышения ПДК ему следует дать рекомендации по нормализации концентраций ЗВ в жилой зоне в соответствии с положениями, изложенными в подразделе 2.3.4.

### **2.3.4 Инженерные решения по результатам расчета**

Инженерные решения по результатам расчета, направленные на снижение концентрации токсичных компонентов отработавших газов в зоне влияния дороги, следует осуществлять на основе технико-экономического сравнения следующих вариантов защитных мероприятий:

- 1) изменение параметров дороги, направленное на повышение средней скорости транспортного потока (при

расширении дороги в 2 раза скорость потока условно увеличивается в 2 раза);

2) ограничения движения отдельных типов автомобилей полностью или в отдельные интервалы времени (при ограничении движения группы автомобилей она не учитывается в формуле 2.1.);

3) усиление контроля за движением автомобилей с неотрегулированными ДВС в целях минимизации токсичных выбросов;

4) применение неэтилированного бензина и каталитического дожигания выхлопных газов бензиновых ДВС;

5) устройство защитных сооружений.

Таблица 2.5

Снижение концентрации ЗВ различными мероприятиями

<b>Мероприятия</b>	<b>Снижение концентрации, %</b>
1. Один ряд деревьев с кустарником высотой до 1,5 м на полосе газона 3...4 м	10
2. Два ряда деревьев без кустарника на газоне 8...10 м	15
3. Два ряда деревьев с кустарником на газоне 10...12 м	30
4. Три ряда деревьев с двумя рядами кустарника на полосе газона 15...20 м	40
5. Четыре ряда деревьев с кустарником высотой 1,5 м на полосе газона 25...30 м	50
6. Сплошные экраны, стены зданий высотой более 5 м от уровня проезжей части	70

Главным критерием при таком сравнении служит уменьшение концентрации ЗВ в расчетных точках при наименьших приведенных затратах на обустройство 1 км дороги, достигнутое без снижения ее пропускной способности. Наиболее эффективными, с позиций экологии, не требующими значительных капитальных вложений на реконструкцию дорожной сети, являются второй и пятый варианты защитных мероприятий. Реализация первого варианта ведет к преднамеренному снижению интенсивности движения по сравнению с текущей за счет изменения категории дороги; применяется при недостаточной эффективности других

вариантов и при условии того, что исходная скорость движения транспорта составляет в среднем 20-30 км/ч. Внедрение третьего и четвертого вариантов по всей территории РФ будет возможно лишь после внедрения новых стандартов на автомобильные бензины и повсеместного контроля за их соблюдением. Поэтому защитные мероприятия необходимо применять в комплексе и с учетом специфики местных условий.

В итоговом заключении студент приводит основные выводы по расчету концентраций токсичных выбросов в атмосфере при эксплуатации автомобилей и предлагает экономически и экологически целесообразные природоохранные мероприятия.

### 2.3.5 Исходные данные студентов для выполнения задания

Таблица 2.6

Исходные данные к расчету по вариантам

Вариант	$N_a$ , авт/ч	Распределение автомобилей по типам, %						$V$ , км/ч	$\Phi$ , град	$l$ , м
		1	2	3	4	5	6			
1	1400	40	5	25	20	5	5	20	25	50
2	2100	35	5	30	20	5	5	25	30	60
3	2300	45	10	15	15	5	10	30	45	80
4	4500	30	15	15	20	10	10	35	40	100
5	1900	40	10	15	20	5	10	40	45	50
6	1700	20	20	20	20	10	10	45	25	60
7	3500	50	5	25	15	0	5	50	50	70
8	3900	40	10	10	25	5	10	55	55	80
9	2800	45	10	15	20	5	5	60	60	60
10	2200	25	25	25	20	0	5	60	65	50
11	1100	40	20	25	5	5	5	55	70	60
12	1000	40	5	25	20	5	5	50	75	70
13	1800	35	5	30	20	5	5	45	80	80
14	1400	45	10	15	15	5	10	40	85	60
15	1500	30	15	15	20	10	10	35	40	100
16	1900	40	10	15	20	5	10	30	25	80
17	900	20	20	20	20	10	10	70	80	40
18	1900	50	5	25	10	5	5	80	75	50
19	1800	40	10	10	25	5	10	60	70	50
20	800	45	10	15	15	5	10	55	65	40
21	3700	25	25	20	20	5	5	45	60	50

### **ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 3**

## **РАСЧЕТ КРАТНОСТИ РАЗБАВЛЕНИЯ СТОЧНЫХ ВОД И УСЛОВИЙ ИХ СБРОСА В ВОДОТОК**

**Цель работы:** определить кратность разбавления и условия сброса сточных вод в водоток.

**Ассимилирующая способность водного объекта** - способность водного объекта принимать определенную массу веществ в единицу времени без нарушения норм качества воды в контролируемом створе или пункте водопользования.

**Водопользование** - использование водных объектов для удовлетворения любых нужд населения и народного хозяйства.

**Загрязняющее вещество** - вещество или смесь веществ, количество и (или) концентрация которых превышают установленные для химических веществ, в том числе радиоактивных, иных веществ и микроорганизмов нормативы и оказывают негативное воздействие на окружающую среду.

**Источник загрязнения вод** - источник, вносящий в поверхностные или подземные воды загрязняющие воду вещества, микроорганизмы или тепло.

**Качество воды** - характеристика состава и свойств воды, определяющая пригодность ее для конкретных видов водопользования.

**Контрольный створ** - поперечное сечение водного потока, в котором контролируется качество воды.

**Нормы качества воды** - установленные значения показателей качества воды для конкретных видов водопользования.

**Предельно допустимая концентрация вещества в воде (ПДК)** - концентрация вещества в воде, выше которой вода непригодна для одного или нескольких видов водопользования.

**Предельно допустимый сброс** - масса вещества в сточных водах, максимально допустимая к отведению с установленным режимом в данном пункте водного объекта в единицу времени с целью обеспечения норм качества воды в контрольном пункте.

**Самоочищение воды** - совокупность природных процессов, направленных на восстановление экологического благополучия водных объектов.

**Фоновое значение показателей качества воды** – значение показателей качества воды водоема или водотока до влияния на него источника загрязнения.

**Фоновые концентрации естественные** – концентрации веществ в воде водного объекта в створе, выше которого водный объект не испытывает антропогенного воздействия.

**Фоновый створ** - поперечное сечение потока, в котором определяется фоновая концентрация вещества в воде.

### **Задание 1.**

Определить кратность разбавления сточных вод в расчетном створе, концентрацию загрязняющих веществ после перемешивания и расстояние, при котором произойдет полное перемешивание.

Планируется сбрасывать в водоток с расходом  $Q$  сточные воды АБЗ с максимальным расходом  $q_{ст}$ . Ниже по течению от планируемого выпуска сточных вод (вид выпуска указан в исходных данных), на расстоянии 3,0 км предполагается разместить туристическую базу отдыха (цели водопользования определяются в соответствии с исходными данными). Водоток характеризуется на этом участке следующими показателями:

-среднемесячный расход водотока 95%-й обеспеченности  $Q$ ,  $м^3/с$ ;

-средняя глубина  $H_{ср}$ , м;

-средняя скорость течения  $V_{ср}$ , м/с;

-извилистость русла слабо выражена.

Показать ситуационную схему для расчета на карте.

### **Задание 2.**

Определить концентрацию взвешенных веществ в сточной воде, разрешенной к сбросу в водоток после очистных сооружений, и потребную эффективность очистки сточной воды по взвешенным веществам.

Концентрация взвешенных веществ в сточной воде, поступающей на очистные сооружения,  $C_{ст}$ . Концентрация взвешенных веществ в воде водного объекта до места сброса  $C_{ф}$ .

### **Задание 3.**

Определить, можно ли произвести сброс нагретых сточных вод с  $T_{ст}$  в водоток со среднемесячной температурой воды  $T_{в}$ .

#### **Задание 4.**

Определить необходимую степень очистки сточных вод по содержанию в них растворенного кислорода  $L_{ст}$ , которые сбрасываются в водоток при следующих условиях:

- содержание растворенного кислорода в водотоке до места сброса сточных вод  $O_B$ , мг/л;
- полное биохимическое потребление кислорода (БПК<sub>полн</sub>) в водотоке до места сброса  $L_B$ , мг/л.

#### **Задание 5.**

Определить необходимую степень очистки сточных вод по БПК<sub>полн</sub> для водного объекта при заданных условиях.

#### **Задание 6.**

Определить величину нормативного сброса загрязняющих веществ в водоем при заданных условиях.

Исходные данные для расчетов представлены в Приложении 5.

#### **Условия сброса сточных вод**

Работа промышленных предприятий связана с потреблением воды. Вода используется в технологических и вспомогательных процессах или является составной частью выпускаемой продукции. При этом образуются сточные воды, которые подлежат сбросу в близлежащие водные объекты.

Сброс сточных вод в водоем недопустим, если:

- $C_{\phi} \geq \text{ПДК}$ ;
- запрещается сброс сточных вод в границах зон санитарной охраны источников питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, рыбоохранных зон, рыбохозяйственных заповедных зон:
- сточные воды можно сбрасывать в водные объекты при условии соблюдения гигиенических требований применительно к воде водного объекта в зависимости от вида водопользования.

Представим ситуацию, когда промышленное предприятие сбрасывает сточные воды после технологического процесса (рис. 3.1).

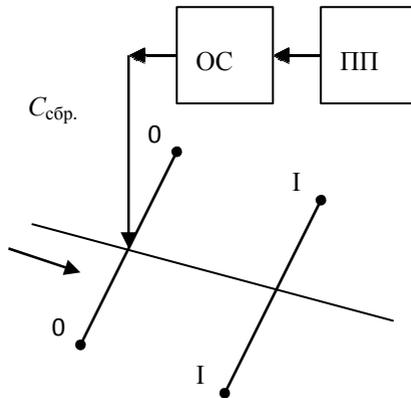


Рис. 3.1. Ситуационная схема для расчета условий сброса сточных вод: 0–0 – нулевой створ; I–I – расчетный створ; ПП – промышленное предприятие; ОС – очистное сооружение

Для водоемов питьевых, хозяйственно-бытовых целей нормативы качества вод или их природный состав и свойства выдерживаются на водотоках, начиная со створа, расположенного выше ближайшего по течению пункта водопользования на 1 км (водозабор для питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, места купания, организованного отдыха и населенного пункта).

Для водоемов рыбохозяйственного назначения нормативы качества поверхностных вод или их природный состав и свойства соблюдаются на протяжении всего участка водопользования, начиная с контрольного створа, но не далее 500 м от места сброса сточных вод или расположения других источников загрязнения поверхностных вод. В случае одновременного использования водного объекта или его участка для различных нужд для состава и свойств его вод принимаются наиболее жесткие нормы качества воды из числа установленных

Выделяются следующие виды и категории водопользования:

**1. Хозяйственно-питьевое и культурно-бытовое водопользование:**

*I категория водопользования* – водные объекты, используемые в качестве источников хозяйственно-питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, а также для водоснабжения предприятий пищевой промышленности.

**II категория водопользования** – водные объекты, используемые для купания, занятия спортом и отдыха населения.

## **2. Рыбохозяйственное водопользование:**

К водным объектам рыбохозяйственного значения относятся водные объекты, которые используются или могут быть использованы для добычи (вылова) водных биоресурсов.

**Высшая категория** – места расположения нерестилищ, массового нагула и зимовальных ям особо ценных видов рыб и других промысловых водных организмов;

**I категория** – водные объекты, используемые для сохранения и воспроизводства ценных видов рыб, обладающих высокой чувствительностью к содержанию кислорода;

**II категория** – водные объекты, используемые для других рыбохозяйственных целей.

При сбросе сточных вод в водные объекты нормы качества воды водного объекта в расчетном створе, расположенном ниже выпуска сточных вод, должны соответствовать санитарным требованиям в зависимости от вида водопользования.

### **Нормы качества воды водных объектов включают:**

- общие требования к составу и свойствам воды водных объектов в зависимости от вида водопользования;

- перечень предельно допустимых концентраций (ПДК) нормированных веществ в воде водных объектов для различных видов водопользования.

В расчетном створе вода должна удовлетворять нормативным требованиям. В качестве норматива используется предельно допустимая концентрация – ПДК.

Все вредные вещества, для которых определены ПДК, подразделены по лимитирующим показателям вредности (ЛПВ), под которым понимают наибольшее отрицательное влияние, оказываемое данными веществами. Принадлежность веществ к одному и тому же ЛПВ предполагает суммацию действия этих веществ на водный объект.

Для водных объектов *хозяйственно-питьевого и культурно-бытового* водопользования используют три вида ЛПВ: **санитарно-токсикологический, общесанитарный и органолептический.**

Для *рыбохозяйственных* водоемов: **санитарно-токсикологический, общесанитарный, органолептический, токсикологический и рыбохозяйственный.**

Вещества, концентрация которых изменяется в воде водного объекта только путем разбавления, называются *консервативными*; вещества, концентрация которых изменяется как под действием разбавления, так и вследствие протекания различных химических, физико-химических и биологических процессов – *неконсервативными*.

### **Определение кратности разбавления сточных вод в расчетном створе**

Основной механизм снижения концентрации загрязняющего вещества при сбросе сточных вод в водные объекты – разбавление.

**Разбавление сточных вод** – это процесс снижения концентрации загрязняющих веществ в водоемах, вызванный перемешиванием сточных вод с водной средой, в которую они выпускаются. Интенсивность процесса разбавления количественно характеризуется **кратностью разбавления**.

Расчет кратности разбавления основан на методе В.А. Фролова – И.Д. Родзиллера, который позволяет получить достоверное представление о потенциально возможном разбавлении сточных вод в стационарных, максимально неблагоприятных условиях, что и определяет целесообразность его использования для расчета допустимых концентраций загрязняющих веществ в сточных водах.

Кратность разбавления  $n$ , определяется по формуле:

$$n = \frac{\gamma Q + q_{\text{ст}}}{q_{\text{ст}}},$$

где:  $q_{\text{ст}}$  – максимальный расход сточных вод, м<sup>3</sup>/с;  $Q$  – расчетный минимальный расход воды водотока в контрольном створе, м<sup>3</sup>/с.;  $\gamma$  – коэффициент смешения, показывающий, какая часть воды реки участвует в разбавлении сточных вод, определяется по формуле:

$$\gamma = \frac{1 - e^{-\alpha \sqrt[3]{L\Phi}}}{1 + \left(\frac{Q}{q_{\text{ст}}}\right) e^{-\alpha \sqrt[3]{L\Phi}}},$$

где:  $Q$  – среднемесячный расход воды водотока 95 %-й обеспеченности, м<sup>3</sup>/с;  $q_{ст}$  – максимальный расход сточных вод, подлежащих сбросу в водоток, м<sup>3</sup>/с;  $L_{\phi}$  – расстояние по фарватеру водотока от места выпуска до контрольного створа (*фарватер* – наиболее глубокая полоса данного водного пространства), м;  $\alpha$  – коэффициент, зависящий от гидравлических условий потока:

$$\alpha = \xi \varphi \sqrt[3]{\frac{D_c}{q_{ст}}},$$

где:  $\xi$  – коэффициент, зависящий от расположения выпуска сточных вод в водоток: при выпуске в фарватер  $\xi = 1,5$ ;  $\varphi$  – коэффициент извилистости водотока, т. е. отношение расстояния между рассматриваемыми створами водотока по фарватеру к расстоянию по прямой;  $D_c$  – коэффициент турбулентной диффузии.

Для равнинных рек и упрощенных расчетов коэффициент турбулентной диффузии находят по формуле М.В. Потапова:

$$D_c = \frac{v_{ср} H_{ср}}{200},$$

где:  $v_{ср}$  – средняя скорость течения водотока на интересующем нас участке между нулевым и расчетным створами, м/с;  $H_{ср}$  – средняя глубина на этом участке, м.

Концентрацию загрязняющих веществ после перемешивания на контрольном створе определяют по формуле:

$$C = (C_{ст} - C_{\phi}) + \frac{C_{\phi}}{n},$$

где:  $C_{\phi}$  – концентрация взвешенных веществ в воде водного объекта до сброса сточных вод, мг/л;  $C_{ст}$  – концентрацию взвешенных веществ в сточной воде, мг/л.

Для определения расстояния, при котором происходит полное перемешивание, используется формула:

$$L = \left[ \frac{1}{\alpha} \cdot \ln \frac{(q_{ст} + \gamma Q)}{(1 - \gamma) q_{ст}} \right]^3$$

### **Расчеты загрязнений водных объектов**

При выпуске сточных вод в водные объекты необходимо, чтобы вода водного объекта в расчетном створе удовлетворяла санитарным требованиям. Для достижения данного условия необходимо заранее рассчитать предельно допустимые

концентрации загрязняющих веществ в сточных водах, с которыми эта вода может быть сброшена в водный объект. Основными видами расчетов при этом являются:

- расчет необходимой степени очистки сточных вод по содержанию взвешенных веществ;
- расчет необходимой степени очистки сточных вод по содержанию растворенного кислорода;
- расчет необходимой степени очистки сточных вод по БПК смеси воды водного объекта и сточных вод;
- расчет величин нормативных сбросов в водоем по вредным веществам;
- расчет допустимой температуры сточных вод перед сбросом их в водные объекты.

#### **Расчет необходимой степени очистки сточных вод по содержанию взвешенных веществ**

Концентрацию взвешенных веществ в очищенной сточной воде, разрешенной к сбросу в водный объект, определяют из выражения:

$$C_{\text{оч}} = P \left( \frac{\gamma Q}{q_{\text{см}}} + 1 \right) + C_{\text{ф}},$$

где:  $C_{\text{ф}}$  – концентрация взвешенных веществ в воде водного объекта до сброса сточных вод, мг/л;  $P$  – разрешенное санитарными нормами увеличение содержания взвешенных веществ в воде водного объекта в расчетном створе;  $Q$  – среднемесячный расход воды водотока 95 %-й обеспеченности, м<sup>3</sup>/с;  $q_{\text{см}}$  – максимальный расход сточных вод, подлежащих сбросу в водоток, м<sup>3</sup>/с;  $\gamma$  – коэффициент смешения.

Рассчитав необходимую концентрацию взвешенных веществ в очищенной сточной воде ( $C_{\text{оч}}$ ) и зная концентрацию взвешенных веществ в сточной воде, поступающей на очистку ( $C_{\text{ст}}$ ), определяют требуемую эффективность очистки сточных вод по взвешенным веществам по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{взв}} = \frac{C_{\text{ст}} - C_{\text{оч}}}{C_{\text{ст}}} \cdot 100 \%$$

#### **Биохимическое потребление кислорода (БПК)**

В природной воде водоемов всегда присутствуют органические вещества. Их концентрации могут быть иногда очень малы (например, в родниковых и талых водах). Природными

источниками органических веществ являются разрушающиеся останки организмов растительного и животного происхождения, как живших в воде, так и попавших в водоем с листья, по воздуху, с берегов и т.п. Кроме природных, существуют также техногенные источники органических веществ: транспортные предприятия (нефтепродукты), целлюлозно-бумажные и лесоперерабатывающие комбинаты (лигнины), мясокомбинаты (белковые соединения), сельскохозяйственные и фекальные стоки и т.д. Органические загрязнения попадают в водоем разными путями, главным образом со сточными водами и дождевыми поверхностными смывами с почвы.

В естественных условиях находящиеся в воде органические вещества разрушаются бактериями, претерпевая аэробное биохимическое окисление с образованием двуокиси углерода. При этом на окисление потребляется растворенный в воде кислород. В водоемах с большим содержанием органических веществ большая часть растворенного кислорода потребляется на биохимическое окисление, лишая, таким образом, кислорода другие организмы. При этом увеличивается количество организмов, более устойчивых к низкому содержанию растворенного кислорода, исчезают кислородолюбивые виды и появляются виды, терпимые к дефициту кислорода. Таким образом, в процессе биохимического окисления органических веществ в воде происходит уменьшение концентрации растворенного кислорода, и эта убыль косвенно является мерой содержания в воде органических веществ. Соответствующий показатель качества воды, характеризующий суммарное содержание в воде органических веществ, называется **биохимическим потреблением кислорода (БПК)**.

Определение БПК основано на измерении концентрации растворенного кислорода в пробе воды непосредственно после отбора, а также после инкубации пробы. Инкубацию пробы проводят без доступа воздуха в кислородной склянке в течение времени, необходимого для протекания реакции биохимического окисления. Обычно определяют БПК за 5 суток инкубации (БПК<sub>5</sub>), однако содержание некоторых соединений более информативно

характеризуется величиной БПК за 10 суток или за период полного окисления (БПК<sub>10</sub> или БПК<sub>полн.</sub> соответственно).

Таким образом, БПК – количество кислорода в миллиграммах, требуемое для окисления находящихся в 1 л. воды органических веществ в аэробных условиях, без доступа света, при 20 °С, за определенный период в результате протекающих в воде биохимических процессов. Ориентировочно принимают, что БПК<sub>5</sub> составляет около 70 % БПК<sub>полн.</sub>, но может составлять от 10 до 90 % в зависимости от окисляющегося вещества.

При сбросе сточных вод в водные объекты снижение концентрации органических веществ происходит как за счет разбавления, так и благодаря процессам самоочищения. При протекании процесса самоочищения скорость изменения БПК пропорциональна количеству кислорода, потребного для биологического окисления органических веществ. Поэтому расчеты ведутся как по определению допустимой концентрации растворенного кислорода, так и по определению допустимого значения БПК.

### **Расчет допустимой концентрации растворенного кислорода**

Содержание растворенного кислорода в водном объекте в результате сброса в него сточных вод не должно быть менее 4 мг/дм<sup>3</sup> в любой период года в пробе, отобранной до 12 часов дня.

Расчет ведут по БПК<sub>полн</sub> в очищенных сточных водах из условия сохранения в расчетном створе допустимой концентрации растворенного кислорода:

$$L_{ст} = \frac{\gamma \cdot Q}{0,4 \cdot q_{ст}} (O_B - 0,4L_B - O) - \frac{O}{0,4},$$

где:  $L_{ст}$  – полное биохимическое потребление кислорода сточной водой, допустимой к сбросу, г/м<sup>3</sup>;  $L_B$  – полное биохимическое потребление кислорода водой водотока, г/м<sup>3</sup>;  $\gamma$  – коэффициент смешения;  $Q$  – среднемесячный расход воды водотока 95 %-й обеспеченности, м<sup>3</sup>/с;  $q_{ст}$  – максимальный расход сточных вод, подлежащих сбросу в водоток, м<sup>3</sup>/с;  $O_B$  – содержание растворенного кислорода в водотоке до места выпуска сточных вод, г/м<sup>3</sup>;  $O$  – минимальное содержание растворенного кислорода водного объекта, г/м<sup>3</sup>;

### Величина допустимого значения БПК<sub>5</sub> в сточных водах на выпуске в водоток

Расчет ведут по БПК<sub>5</sub> сточных вод, допустимых к отводу в водные объекты:

$$L_{\text{ст}} = \frac{\gamma \cdot Q}{q_{\text{ст}} \cdot 10^{-k_{\text{ст}}t}} \cdot (L_{\text{ПДК}} - L_{\text{в}} \cdot 10^{-k_{\text{в}}t}) + \frac{L_{\text{ПДК}}}{10^{-k_{\text{ст}}t}},$$

где:  $k_{\text{в}}$ ,  $k_{\text{ст}}$  - константы скорости потребления кислорода органическими веществами воды водотока и сточной воды соответственно. Принимаются равными  $k_{\text{в}} = k_{\text{ст}}$ . Константа скорости потребления кислорода (для смеси бытовых и природных вод) имеет различные значения в зависимости от температуры (табл. 3.1):

Таблица 3.1

Температура воды, °С	0	5	10	15	20	25	30
$k_{\text{ст}}$ , сут	0,04	0,05	0,063	0,08	0,10	0,126	0,158

$L_{\text{ПДК}}$  - значение допустимой концентрации БПК<sub>5</sub> смеси сточных вод и воды водного объекта в расчетном створе, мг/л; (требования, прил.2);  $L_{\text{в}}$  - БПК<sub>полн</sub> воды водного объекта до места выпуска сточных вод, мг/л; (прил.2);  $t$  - длительность перемещения воды от места сброса до расчетного створа, сут.

$$t = \frac{L}{v_{\text{cp}}},$$

где:  $L$  - расстояние по фарватеру от места выпуска сточных вод до контрольного створа, м;  $V_{\text{cp}}$  - средняя скорость течения воды водотока, м/с.

### Расчет величин нормативных сбросов загрязняющих веществ в водоем

Качественные показатели воды обусловлены в основном концентрацией содержащихся в ней компонентов. В состав воды в виде различных химических соединений входят около 50 элементов, такие как кислород, углекислый газ, сероводород, азот, а также катионы и анионы растворенных в воде солей кальция, магния, натрия, калия, хлора и др. В результате антропогенных загрязнений изменяются физические и органолептические свойства воды, увеличивается содержание сульфатов, хлоридов нитратов,

появляются специфические загрязнения не свойственные естественному фону.

Так, например, высокие концентрации хлоридов в воде коррозионно активны, пагубно влияют на рост растений, вызывают засоление почв. Повышенное содержание нитратов и аммонийных соединений в воде могут служить индикатором загрязнения водоема в результате распространения фекальных либо химических загрязнений (сельскохозяйственных, промышленных). Водная среда подлежит нормированию и в таблице 3.2 приведены некоторые ПДК вредных веществ в водоемах различной категории водопользования (примеры ПДК, высокое (ВЗ) и экстремально высокое (ЭВЗ) загрязнение водоемов).

Таблица 3.2

Показатели	Категория водопользования	ЛПВ водоема	ПДК	ВЗ	ЭВЗ
Абс. содержание раств. O <sub>2</sub> , мг/л	рыбохозяйственное	общие требования	4	<3	<3
БПК <sub>5</sub> , мг/л	рыбохозяйственное	общие требования	2	>15	>60
Азот аммонийный	рыбохозяйственное	токсикол	0.39	>3.9	>39
Азот нитратов	рыбохозяйственное	сан.-токс.	1	>10	>100
Азот нитритов	рыбохозяйственное	токсикол.	0.02	>0.2	>2.0
Фенолы	рыбохозяйственное	рыбохоз.	0.001	>0.03	>0.1
Нефтепродукты	рыбохозяйственное	рыбохоз.	0.05	>1.5	>5.0
СПАВ	рыбохозяйственное	токсикол.	0.1	>1.0	>10

Величины НДС определяются для всех категорий водопользователей по формуле:

$$\text{НДС} = q_{\text{ст}} \cdot C_{\text{НДС}} \text{ (г/час)},$$

где:  $q_{\text{ст}}$  – максимальный часовой расход сточных вод, м<sup>3</sup>/ч;  $C_{\text{НДС}}$ .

Допустимая концентрация загрязняющего вещества, г/м<sup>3</sup>, определяется по формуле:

$$C_{\text{НДС}} = n \cdot (C_{\text{ПДК}} - C_{\text{ф}}) + C_{\text{ф}},$$

где:  $C_{\text{ПДК}}$  – предельно допустимая концентрация загрязняющего вещества в воде водотока, г/м<sup>3</sup>;  $C_{\text{ф}}$  – фоновая концентрация загрязняющего вещества в водотоке выше выпуска сточных вод, г/м<sup>3</sup>;  $n$  – кратность общего разбавления сточных вод в водотоке.

#### **Расчет допустимой температуры сточных вод перед сбросом их в водные объекты**

Расчет ведут исходя из условий, что температура воды водного объекта не должна повышаться более величины, оговоренной «Гигиеническими требованиями к охране поверхностных вод» в зависимости от вида водопользования.

Температура сточных вод, разрешенных к сбросу, должна удовлетворять условию:

$$T_{\text{ст}} \leq n \cdot T_{\text{доп}} + T_{\text{в}},$$

где:  $T_{\text{доп}}$  – допустимое повышение температуры; (Т+ф);  $T_{\text{в}}$  – температура водного объекта до места сброса сточных вод.

**Общие требования к составу и свойствам воды водных объектов в контрольных створах и местах питьевого, хозяйственно-бытового и рекреационного водопользования**

Таблица 3.3

№	Показатели	Категории водопользования	
		Для питьевого и хозяйственно- бытового водоснабжения, а также для водоснабжения пищевых предприятий	Для рекреационного водопользования, а также в черте населенных мест
1	Взвешенные вещества*	При сбросе сточных вод, производстве работ на водном объекте и в прибрежной зоне содержание взвешенных веществ в контрольном створе (пункте) не должно увеличиваться по сравнению с естественными условиями более чем на	
		0,25 мг/дм <sup>3</sup>	0,75 мг/дм <sup>3</sup>
		Для водных объектов, содержащих в межень более 30 мг/дм <sup>3</sup> природных взвешенных веществ, допускается увеличение их содержания в воде в пределах 5 %. Взвеси со скоростью выпадения более 0,4 мм/с для проточных водоемов и более 0,2 мм/с для водохранилищ к спуску запрещаются	
2	Плавающие примеси	На поверхности воды не должны обнаруживаться пленки нефтепродуктов, масел, жиров и скопление других примесей	
3	Окраска	Не должна обнаруживаться в столбике	
		20 см	10 см
4	Запахи	Вода не должна приобретать запахи интенсивностью более 2 баллов, обнаруживаемые:	
		непосредственно или при последующем хлорировании или других способах обработки	непосредственно
5	Температура	Летняя температура воды в результате сброса сточных вод не должна повышаться более чем на 3°С по сравнению со среднемесячной температурой воды самого жаркого месяца года за последние 10 лет	
6	Водородный показатель (рН)	Не должен выходить за пределы 6,5—8,5	
7	Минерализация воды	Не более 1000 мг/дм <sup>3</sup> , в т. ч.: хлоридов - 350; сульфатов - 500 мг/дм <sup>3</sup>	

Окончание табл. 3.3

№	Показатели	Категории водопользования	
		Для питьевого и хозяйственно- бытового водоснабжения, а также для водоснабжения пищевых предприятий	Для рекреационного водопользования, а также в черте населенных мест
8	Растворенный кислород	Не должен быть менее 4 мг/дм <sup>3</sup> в любой период года, в пробе, отобранной до 12 часов дня.	
9	Биохимическое потребление кислорода (БПК <sub>5</sub> )	Не должно превышать при температуре 20 °С	
		2 мг O <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	4 мг O <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>
10	Химическое потребление кислорода (бихроматная окисляемость), ХПК	Не должно превышать:	
		15 мг O <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	30 мгO <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>
11	Химические вещества	Не должны содержаться в воде водных объектов в концентрациях, превышающих ПДК или ОДУ	
12	Возбудители кишечных инфекций	Вода не должна содержать возбудителей кишечных инфекций	
13	Жизнеспособные яйца гельминтов (аскарид, власоглав, токсокар, фасциол), онкосферы тениид и жизнеспособные цисты патогенных кишечных простейших	Не должны содержаться в 25 л воды	
14	Термотолерантные колиформные бактерии**	Не более 100 КОЕ/100 мл **	Не более 100 КОЕ/100 мл
15	Общие колиформные	Не более	
		1000 КОЕ/100 мл**	500 КОЕ/100 мл
16	Колифаги **	Не более	
		10 БОЕ/100 мл**	10 БОЕ/100 мл**
17	Суммарная объемная активность радионуклидов при совместном присутствии***	$\sum (A_i / Y_{Bi}) \leq 1$	

### **Примечания**

\* *Содержание в воде взвешенных веществ не природного происхождения (хлопья гидроксидов металлов, образующихся при обработке сточных вод, частички асбеста, стекловолокна, базальта, капрона, лавсана и т. д.) не допускается.*

\*\* *Для централизованного водоснабжения; при нецентрализованном питьевом водоснабжении вода подлежит обеззараживанию.*

\*\*\* *В случае превышения указанных уровней радиоактивного загрязнения контролируемой воды проводится дополнительный контроль радионуклидного загрязнения в соответствии с действующими нормами радиационной безопасности;*

*$A_i$  - удельная активность  $i$ -го радионуклида в воде;*

*$УВ_i$  - соответствующий уровень вмешательства для  $i$ -го радионуклида.*

## **ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 4**

### **ПОСТРОЕНИЕ ИНЖЕНЕРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ КАРТЫ**

**Цель работы:** определить степень негативного воздействия от деятельности промышленного предприятия на окружающую среду.

**Задание 1.** Оформить инженерно-экологическую карту ОАО «Фосфаты», используя условные обозначения из таблицы 4.3.

**Задание 2.** Проанализировать промышленную деятельность предприятия ОАО «Фосфаты». Выявить нарушения и загрязнения компонентов окружающей среды.

**Задание 3.** Предложить свое предприятие, проанализировать его промышленную деятельность. Представить подробную информацию о специфике производства, месте расположения предприятия (привести характеристику климатических условий, рельефа местности, близлежащих населенных пунктов с указанием численности населения и т.д.). Начертить технологическую цепочку производственного цикла с указанием газообразных выбросов, жидкостных сбросов и образующихся твердых отходов. На основании результатов анализа заполнить таблицу 4.2.

### **Общие сведения о промышленном объекте**

ОАО «Фосфаты» включает в себя горнопромышленный комплекс по разработке месторождения фосфоритов и их

обогащению, производство кормовых обесфторенных фосфатов (ПКОФ), специальные хранилища жидких и твердых отходов. Из-за низкого содержания полезного компонента в руде, добыча и переработка сопровождается образованием большого количества твердых и жидких отходов, складываемых в специальные хранилища. Основной продукцией является фосфоритная мука и песок кварцевый молотый.

На территории промплощадки ОАО «Фосфаты» (рис. 4.2) располагаются следующие объекты и сооружения:

1. Завод по производству удобрений (пункт 1);
2. Обогащительные фабрики рудопромывки и флотации (пункты 7, 8);
3. Котельные (пункты 3, 10);
4. Теплица (пункт 4);
5. Хвостохранилища завода, рудопромывки и флотации (пункты 2, 14, 15);
6. Водозабор (пункт 5);
7. Старые хвостохранилища (пункты 11, 12);
8. Отстойники (пункты 16, 17);
9. Накопитель оборотной воды (пункт 13);
10. Отвалы (пункты 19, 26);
11. Пункты перегрузки сырья, продукции (пункты 6, 9);
12. Болото техногенного происхождения (пункт 18);
13. Сельскохозяйственная рекультивация (пункт 20);
14. Лесохозяйственная рекультивация (пункт 21);
15. Рекреационная рекультивация (пункт 22);
16. Лес (пункт 23);
17. Вырубка леса (пункт 24);
18. Карьерная выемка, вскрывающая юрский водоносный горизонт (пункт 25).

ОАО «Фосфаты» включает в себя 11 карьеров. На рассматриваемой территории располагается карьер №7. Егорьевское месторождение фосфоритов расположено на юго-востоке Московской области.

На более чем 30 % территории естественный рельеф нарушен в связи с отработкой месторождения открытым карьерным

способом и намывом отходов обогащения. Большая часть отработанных участков карьеров спланирована и рекультивирована. Отрицательные формы рельефа, наряду с долинами рек и ручьев, образованы траншеями, котлованами, дренажными канавами.

По территории месторождения протекает р. Натынка с площадью водосбора 80,5 км<sup>2</sup>, левый приток реки Москва. В районе Натынского водосбора располагаются две фабрики по обогащению фосфатного сырья – рудопромывочная и флотационная, хвостовое хозяйство обогатительных фабрик, куда производится намыв твердых и жидких отходов, производство кормовых обесфторенных фосфатов (ПКОФ), работающее на переработке привозного апатитового концентрата, шламонакопитель ПКОФ, куда сбрасываются отходы производства.

Карьерный дренаж – открытого типа. По системе водоотводных канав карьерные воды сбрасываются в р. Натынку и ее притоки. Карьерные воды образуются вследствие разгрузки подземных и атмосферных вод в дренажные каналы.

Заболоченность Натынского водосбора 7,5 %, и она имеет тенденцию к увеличению вследствие нарушения водного баланса территории – утечек из системы водооборота хвостового хозяйства и аварийных сбросов с обогатительных фабрик. В местах разгрузки загрязненных подземных вод с территории хвостового хозяйства, речные воды по своему составу близки к дренажным водам хвостохранилищ. На протяжении 7 км до впадения р. Натынки в р. Москву наблюдается улучшение качества воды, но не до требуемого уровня.

Фосфориты Егорьевского месторождения относятся к глауконитовой разновидности низкофосфатных фосфоритовых конкреций, содержащих 10,5 - 18,5 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

В районах хвостохранилищ и карьеров в геологическом разрезе присутствуют техногенные отложения, представленные насыпными и намывными породами.

Насыпные породы – это результат складирования в отвалы вскрышных пород. Мощность насыпных пород 3,8 - 22,7 м.

Намывные породы — это отходы обогащения фосфоритовой руды, представляющие собой механические примеси и химические

осадки, насыщенные концентрированными токсичными растворами, складываются на территории хвостового хозяйства. Мощность намывных пород зависит от времени намыва и колеблется от 0,5 до 25 м.

Почвенный покров весьма разнообразен. На территориях, не подвергшихся техногенному воздействию, встречаются подзолистые, дерново-подзолистые и серые почвы, характеризующиеся низкими значениями рН и малым содержанием органических веществ (1,5-2,5 %). В качестве искусственных почв (на территории рекультивации) нанесен слой глауконитовых песков.

По своему составу осадки несут техногенную нагрузку, их минерализация и концентрации основных компонентов превышают фоновые в 10-25 раз. Наблюдаются повышенные концентрации фосфатов, фторидов, которые являются характерными составляющими газопылевых выбросов обогатительных фабрик и ПКОФ.

### Технологическая схема предприятия

Технологическая цепочка добычи и переработки фосфатов, а также образование отходов производства показано на рис. 4.1.

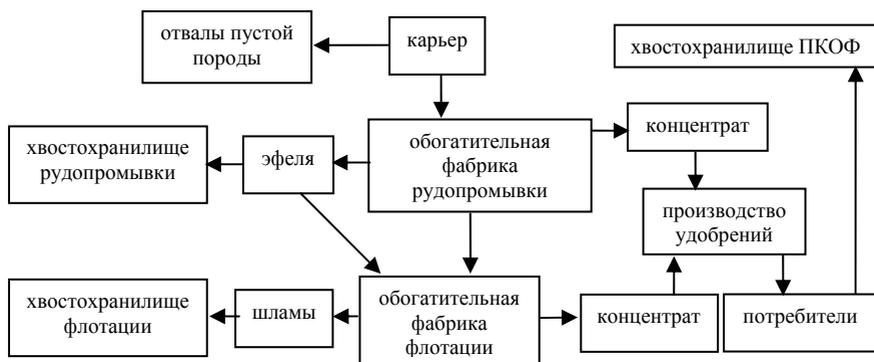


Рис. 4.1 Технологическая цепочка добычи и переработки фосфоритов, образования отходов производства

Разработка месторождения ведется открытым способом по транспортно – отвальной схеме с дальнейшей рекультивацией нарушенных земель.

Переработка руды ведется на двух обогатительных фабриках (рудопромывочной и флотационной) и на заводе по производству удобрений. Весь цикл добычи и переработки полезных ископаемых сопровождается накоплением жидких и твердых отходов, загрязняющих земли, поверхностные и подземные воды, и формированием техногенных ландшафтов, лито- и гидрогеохимических ореолов и потоков загрязнения.

Для добычи полезного ископаемого на промплощадке экскаватором выкапывается карьер. Карьерная выемка вскрывает юрский водоносный горизонт. Вскрыша представлена песчаными породами. Пустая порода, не представляющая какой-либо ценности, направляется в отвал.

Используемая на предприятии вода берется из водозабора реки Натынки и транспортируется к заводу по производству удобрений и обогатительным фабрикам рудопромывки и флотации, где происходит обогащение фосфатного сырья.

Отходы обогащения, представленные жидкой и твердой фракцией, направляются в хвостохранилища, где вода отстаивается в течение некоторого времени. В результате твердая фракция оседает на дно, а жидкая переходит в накопитель оборотной воды. Вода из накопителя впоследствии поступает на обогатительные фабрики рудопромывки и флотации. Таким образом, предприятие использует неполный замкнутый цикл водооборота.

Первичное обогащение (рудопромывка) основано на механическом дезинтегрировании в воде глинистого и дисперсного глауконитового материала и выделении желваков. Эффективность первичного обогащения низкая, так как желваки составляют всего 2-5% от веса фосфоритной руды. С целью снижения потерь  $P_2O_5$  с отходами обогащения, эфеля (отходы рудопромывки) подвергают дообогащению флотацией. Для обогащения используются техническая вода, состоящая на 25 % из оборотной воды из накопителя и на 75 % из речной воды.

В результате промывки руды и гидротранспорта твердых отходов происходит интенсификация процессов растворения измельченной руды. В воде, используемой в технологическом процессе, повышается в 2-5 раз концентрация практически всех

компонентов, особенно ионов  $\text{Ca}^{2+}$ , сульфатов, фосфатов, фторидов, органических веществ.

Флотация основана на искусственно создаваемом с помощью реагентов различии в смачиваемости минералов водой. Молекулы этих реагентов-коллекторов – гетерополярны, обладают сродством к определенным минералам, избирательно приликая к поверхности этих минералов, они образуют пленки, в результате чего частицы минералов становятся несмываемые водой и выносятся в пену. Рудные минералы остаются во флотационной камере. Процесс флотации фосфоритов происходит в щелочной среде. В качестве основных флотореагентов используется керосин или соляровое масло.

В результате первичного обогащения (рудопромывки) и флотации получают фосфоритную муку, являющуюся минеральным удобрением и отходы обогащения – твёрдые – эфеля (отходы рудопромывки) и шламы (отходы флотации), сбрасывающиеся в хвостохранилища. Ежегодно на территорию хвостового хозяйства сбрасывается 3000 тыс. т эфелей, 1460 тыс. т шламов, 30 тыс. т сточных вод. Утечки из хвостохранилищ представляют основную опасность в загрязнении и нарушении режима подземных и поверхностных вод района расположения горнопромышленного предприятия. Происходит изменение генетических составляющих солевого баланса природных вод, вследствие чего с территории усиливается вынос карбонатов, хлоридов, сульфатов, фторидов, кальция, натрия, калия.

*Флотация* — это процесс, основанный на всплывании коллоидных и дисперсных примесей вместе с пузырьками воздуха и образовании на поверхности флотатора пены.

*Концентрат* – продукт обогащения полезных ископаемых, более пригодный для употребления или дальнейшей обработки, чем исходное сырьё.

*Эфеля* - мелкозернистая часть хвостов обогащения, отделяемая промывкой.

*Шламы* - наиболее тонкозернистая часть хвостов обогащения, нередко содержит значительное количество полезного компонента, не улавливаемого на обогатительных установках.

*Хвостохранилище* – устройство для приёма и хранения отходов обогащения полезных ископаемых — отвальных хвостов.

В результате пылегазовых выбросов происходит загрязнение атмосферы вредными веществами, такими как диоксид серы, оксиды азота, твердые частицы, оксид углерода и другие токсичные вещества.

Из-за уничтожения естественного покрова растительности и почв при разработке месторождения снижается биологическая продуктивность территории.

Восстановление нарушенных земель предприятие выполняет с помощью лесохозяйственной рекультивации (выравнивание отвала, высадка сосен), сельскохозяйственной рекультивации (посадка кормовых и пропашных культур) и рекреационной рекультивации, в результате чего образуются техногенные агроландшафты, лесохозяйственные и рекреационные ландшафты.

Строительство заводов и фабрик привело к образованию горнопромышленного техногенного ландшафта. Следствием этого является изменение минералогического и гранулометрического состава почв.

### **Загрязнения и нарушения природной среды**

Промышленная деятельность ОАО «Фосфаты» оказывает влияние на окружающую среду. Это воздействие проявляется в виде нарушений и загрязнений.

*Нарушение* – структурно-пространственные изменения (числа, формы, расположения элементов), происходящие в результате воздействия производства на природную среду.

Выделяют нарушения:

- *геомеханические* – изменения, происходящие в почвенном слое и в массиве горных пород в результате различных производственно - технологических процессов (деформация, провалы, выемки, насыпи, застройки);

- *гидродинамические* – изменения размещения, режима и динамики поверхностных и грунтовых вод (затопление рельефа, истощение водоемов и водотоков, заболачивание);

- *аэродинамические* – нарушения, возникающие в результате изменения воздушных потоков при строительстве зданий,

сооружений, отвалов и выделения в атмосферу больших потоков тепловой энергии (температурные инверсии, ветровые тени);

- *биоморфологические* – нарушения, возникающие в результате строительства и расширения предприятий, происходящие, как правило, в совокупности с другими нарушениями (фитоценоотические, зооценоотические, микробоценоотические).

*Загрязнение* – привнесение в природную среду или возникновение в ней новых, не характерных для среды физических, химических, биологических агентов; или повышение концентрации этих агентов сверх среднего наблюдавшегося количества или уровня.

Все виды загрязнителей можно классифицировать по их природе на:

- физические (тепловое, световое, электромагнитное, радиационное загрязнения);

- химические;

- биологические – привнесение в среду и размножение в ней нежелательных для человека организмов; привнесение патогенных микроорганизмов;

- информационные – поток негативной информации, поступающей человеку по различным информационным каналам.

Таблица 4.1

### Классификация нарушений

Группа	Форма	Процессы, способствующие возникновению нарушений
<b>Геомеханические</b>		
Деформации	Уплотнение и разрыхление	Транспортирование груза автотранспортом, длительное складирование тяжелых грузов, нагрузка под зданиями и сооружениями

Продолжение табл. 4.1

Группа	Форма	Процессы, способствующие возникновению нарушений
<b>Геомеханические</b>		
	Проседание	Добыча полезных ископаемых подземным способом, добыча нефти и газа, забор воды из подземных горизонтов
	Трещины	Добыча полезных ископаемых подземным способом, сползание бортов карьера и т.д.
Провалы	Кольцевые	Отработка рудных месторождений с обрушением, неравномерно отложенные отвалы
	Каньонообразные	Отработка угольных крутопадающих пластов мощных пластов с обрушением, наличие карстовых пород и их осушение водозаборами
	Котлованные	Отработка мощных рудных и пластовых месторождений, наличие карстовых пород и их осушение водозаборами
	Террасированные	Отработка месторождений под склонами гор и сопок

Продолжение табл. 4.1

Группа	Форма	Процессы, способствующие возникновению нарушений
<b>Геомеханические</b>		
Выемки	Карьерные	Добыча полезных ископаемых в зависимости от условий залегания и принятой системой разработок
	Котлованные и траншейные	Прокладка коммуникаций, строительство зданий или транспортных траншей (непродолжительное время)
	Придонная	Добыча полезных ископаемых по руслам рек, прокладка трубопроводов через водные преграды, добыча полезных ископаемых на шельфе
Насыпи	Отвальные	Складирование пород при прохождении горных выработок на шахте и рудниках, вскрыши, строительство, складирование сырья, отходов
	Гидротехнические	Формирование гидроотвалов, хвостохранилищ
Застройки		Строительство зданий, сооружений, стройплощадки, жилой массив

Продолжение табл. 4.1

Группа	Форма	Процессы, способствующие возникновению нарушений
<b>Гидродинамические</b>		
Поверхностные	Зарегулирование	Изменение естественной динамики и расположения водотоков и водоемов (водохранилища, каналы)
	Затопление рельефа	Сбросы большого количества сточных вод, создание водохранилищ
	Истощение водотоков и водоемов	Мощные водозаборы
	Заболачивание	Повышение уровня грунтовых вод
Подземные	Затопление (подтопление), осушение	Геомеханические нарушения при строительстве, добыче полезных ископаемых
	Заболачивание	Захоронение жидких отходов, специальные способы отработки месторождений
<b>Аэродинамические</b>		
	Разряжение (ветровые тени), возмущения по направлению	Размещение элементов ноосферы: зданий, сооружений
	Температурные инверсии	Выделение в атмосферу большого количества потоков тепловой энергии
<b>Биоморфологические</b>		
Фитоценоотические	Повреждение и уничтожение растительности	

Окончание табл. 4.1

Группа	Форма	Процессы, способствующие возникновению нарушений
<b>Биоморфологические</b>		
Зооценотические	Распугивание. Уничтожение. Подавление способности к размножению	
Микробоценотические	Повреждение Уничтожение. Подавление способности к размножению	

Таблица 4.2

**Техногенное воздействие предприятия на компоненты окружающей среды**

Компонент ОС	Загрязнения	Нарушения	Последствия
Атмосфера			
Гидросфера			
Литосфера			
Биосфера			

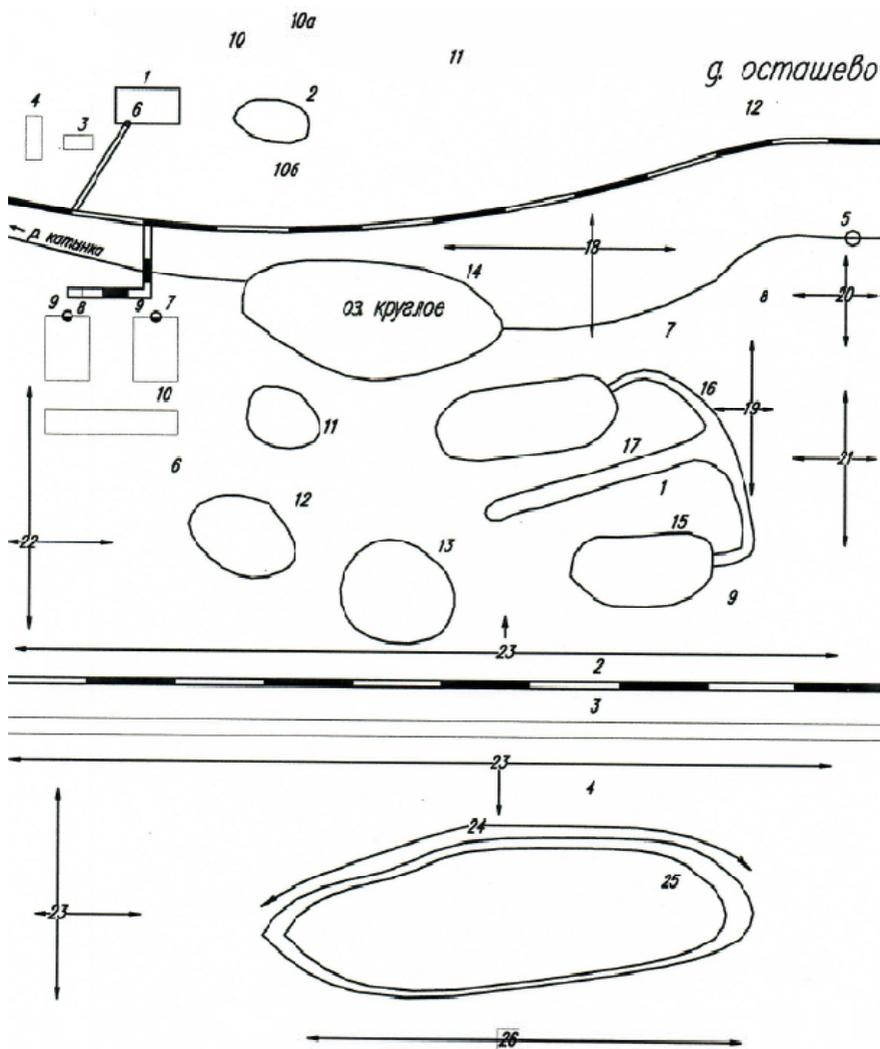
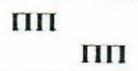
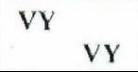
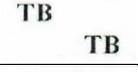
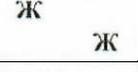
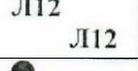
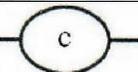


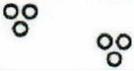
Рис. 4.2 Инженерно-экологическая карта

Таблица 4.3

Условные обозначения для нанесения на инженерно экологическую карту

	предприятие производственного цикла
	карьерная выемка, вскрывающая юрский водоносный горизонт
	производство тепла
	хранилища твердых отходов
	хранилища жидких отходов
	отвалы пустой породы высотой 12 м
	лес
	вырубка леса
	болото
	транспорт сырья
	транспорт тепла
	транспорт воды
	гидротранспорт отходов
	пункт перегрузки
	водозабор

Окончание табл. 4.3

	лесохозяйственная рекультивация
	сельскохозяйственная рекультивация (пропашные)
	сельскохозяйственная рекультивация (кормовые)
	рекреационная рекультивация

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

### *Основная литература:*

1. *Ветошкин, А. Г.* Основы инженерной экологии : учебное пособие / А. Г. Ветошкин. — Санкт-Петербург : Лань, 2018. — 332 с.
2. *Царалунга, А. В.* Экология : учебное пособие / А. В. Царалунга, В. В. Царалунга, Н. Л. Прохорова. — Воронеж : ВГЛТУ, 2018. — 84 с.
3. *Стурман, В. И.* Геоэкология : учебное пособие для вузов / В. И. Стурман. — 3-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2020. — 228 с.
4. *Дмитренко, В. П.* Экологические основы природопользования : учебное пособие / В. П. Дмитренко, Е. М. Мессинева, А. Г. Фетисов. — Санкт-Петербург : Лань, 2019. — 224 с.
5. *Карлович, И. А.* Геоэкология : учебник / И. А. Карлович. — Москва : Академический Проект, 2020. — 512 с.

### *Дополнительная литература:*

1. Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ (с изменениями от 31 июля 2020 года) "Об охране окружающей среды".
2. *Белевицкий А.М.* Проектирование газоочистных сооружений. — Л.: Химия, 1990.— 288с.
3. Методы расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе. 2017г. утв. приказом Минприроды России от 06.06.2017 N273.
4. Охрана окружающей среды, природопользование и обеспечение экологической безопасности в Санкт-Петербурге в 2014 году (Под ред. И.А. Григорьева). — СПб.: 2016. — 452 с.
5. Методическое пособие по расчету, нормированию и контролю выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. СПб.: ОАО «Атмосфера», 2002. — 222 с
6. ГОСТ 32965-2014 «Дороги автомобильные общего пользования. Методы учета интенсивности движения транспортного потока».
7. Методика расчета годовых выбросов передвижных источников на автомагистралях Санкт-Петербурга на основе обследования структуры автотранспортных потоков, ООО «Фирма «Интеграл-Софт», 03.04.2018 г.
8. ГН 2.1.6.3492-17 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений».
9. Методическое пособие по расчету, нормированию и контролю выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух (дополненное и переработанное). СПб, 2012. 16.
10. Приказ от 17 декабря 2007 года N 333 «Об утверждении Методики разработки нормативов допустимых сбросов веществ и

микроорганизмов в водные объекты для водопользователей» (с изменениями на 31 июля 2018 года).

11. СанПиН 2.1.5.980-00 «Гигиенические требования к охране поверхностных вод», Минздрав России, Москва 2000.

12. Расчет разбавления сточных вод в реках, озерах и водохранилищах: методические указания / Сост. В.В. Быкова. – Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2009. – 24 с.

13. Основные расчеты загрязнений водных объектов: методические указания к практическим работам по дисциплине «Промышленная экология ч.2» / Сост. О.А. Бычков. – Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2014. – 27с.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	3
Практическая работа № 1. Расчет загрязнения атмосферы выбросами одиночных источников .....	4
Практическая работа № 2. Расчет токсичных выбросов в атмосферу при эксплуатации автомобилей.....	16
Практическая работа № 3. Расчет кратности разбавления сточных вод и условий их сброса в водоток .....	25
Практическая работа № 4. Построение инженерно-экологической карты .....	40
Библиографический список.....	55