

УДК 656.13:551.511(477.75)

А.С. МУРОВСКАЯ (аспирант)

Национальная академия природоохранного и курортного строительства, Симферополь

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПЕРАТИВНОГО РАСЧЕТА
КОНЦЕНТРАЦИИ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ, ПОСТУПАЮЩИХ В
ПРИБРЕЖНУЮ ЗОНУ МОРЯ С ЛИВНЕВЫМ СТОКОМ**

В данной работе рассмотрена математическая модель оперативного расчета загрязнения прибрежной зоны моря сбрасываемым ливневым стоком с городской территории. Разработаны и обоснованы дополнительные коэффициенты, позволяющие учесть количественные особенности атмосферных осадков, формирование ливневого стока с учетом подстилающей поверхности городской территории и расчета параметров зоны загрязнения водосборной территории от различных техногенных источников.

Ключевые слова: прибрежная зона моря, ливневый сток, рассеивание, рельеф, Феодосия.

Введение. Вода – ценнейший природный ресурс. Большую роль вода играет для: хозяйственно-бытовых нужд населения, сельского хозяйства, промышленности в целом. Постоянный рост городов, бурное развитие промышленности, улучшение культурно-бытовых условий и ряд других факторов все больше усложняет проблемы качественного обеспечения водными ресурсами, что ведет к дефициту пресной воды, становясь мировой проблемой.

Поверхностный сток с селитебных территорий и площадок предприятий является одним из интенсивных источников загрязнения водоемов различными примесями природного и техногенного происхождения [1].

Город Феодосия, расположенный на юго-востоке Крымского полуострова, вытянут вдоль побережья Феодосийского залива. Кварталы города расположены на предгорной равнине, по склонам отрогов хребта Тепе-Оба, который прикрывает город с юго-запада. Уклон линии рельефа составляет $i = 0,01 - 4^\circ$.

Так как город является рекреационно-промышленной территорией с развитой сферой туризма и рыбохозяйственной деятельностью, следовательно, актуальным вопросом на сегодня является состояние элементов экосистемы, в частности качество морской воды в прибрежной зоне.

Целью работы является разработка технических решений по снижению воздействия ливневых стоков на экосистему приморских городов с учетом особенностей пространственного размещения техногенных объектов и метеоклиматических условий территории.

Постановка задачи. Автором в ходе выполнения договорной работы с Администрацией г. Феодосия по комплексной геоэкологической оценке территории города в течение 2010 г были отобраны пробы донных отложений городских ливневых стоков, показавшие превышение по содержанию тяжелых металлов I и II класса опасности (табл. 1) [2].

Анализируя полученные результаты проведенных геохимических исследований донных отложений городской системы ливневых стоков можно сделать вывод, что уровень очистки поверхностных сточных вод недостаточен для обеспечения высокого качества морской воды в зоне купания. Ввиду недостаточной развитости ливневой канализации в исторически сложившейся части городе и зоне новой застройки положение загрязнения прибрежной зоны моря усугубляется тем, что формирование поверхностного стока проходит на загрязненной тяжелыми металлами, нефтепродуктами, органическими соединениями городской территории, а затем без очистки поступает в прибрежную зону моря.

Таблица 1- Результаты эколого-геохимического исследований отобранных проб донных отложений городских ливнестоков территории г. Феодосия

№ п/п	Полевой №	Токсичные элементы	Класс опасности	ПДК токсичных элементов, мг/кг [3]	Количество отобранных проб в системе ливнестока	Содержание элементов в техногенных аномалиях, находящихся в донных отложениях ливнестока, мг/кг	
						Минимальное	Максимальное
1	9	Pb	I	32	10	20	62
2	10	Zn		23		10	25
5	11	Cu	II	3		1,5	3,2
6	12	Cr		6,0		25	63
7	13	Ni		4,0		20	32
8	14	Нефтепродукты		IV		-	97

На сегодняшний день основными загрязнителями территории города является транспорт, городские котельные и промышленные предприятия, расположенные в жилых кварталах города [4].

Согласно методике [5] предельно допустимый годовой сброс загрязняющих веществ (ЗВ), поступающий в водный объект, со среднегодовым объемом поверхностных сточных вод определяется по формуле (1):

$$\text{ПДС}_{\text{вып}} = W_{\text{г}} C_{\text{ПДС}}, \quad (1)$$

где $\text{ПДС}_{\text{вып}}$ – предельно допустимый годовой сброс ЗВ, поступающий в водный объект, г/год;

$W_{\text{г}}$ – среднегодовой объем поверхностных сточных вод, м³/год;

$C_{\text{ПДС}}$ – допустимая концентрация ЗВ в сбрасываемых поверхностных сточных водах, мг/дм³.

Среднегодовой объем поверхностных сточных вод ($W_{\text{г}}$), образующихся на селитебных территориях и площадках предприятий в период выпадения дождей, таяния снега и мойки дорожных покрытий, определяется по формуле (2) [6]:

$$W_{\text{г}} = W_{\text{д}} + W_{\text{т}} + W_{\text{м}}, \quad (2)$$

где $W_{\text{д}}$, $W_{\text{т}}$ и $W_{\text{м}}$ – среднегодовой объем дождевых, талых и поливочных вод, м³/год.

Среднегодовой объем дождевых ($W_{\text{д}}$) и талых ($W_{\text{т}}$) вод, стекающих с селитебных территорий и промышленных площадок, определяется по формулам (3) и (4) [6]:

$$W_{\text{д}} = 10 h_{\text{д}} \Psi_{\text{д}} F, \quad (3)$$

$$W_{\text{т}} = 10 h_{\text{т}} \Psi_{\text{т}} F, \quad (4)$$

где 10 – переводной коэффициент;

$h_{\text{д}}$ – слой осадков, мм, за теплый период года, определяется по [7];

h_T – слой осадков, мм, за холодный период года (определяет общее годовое количество талых вод) или запас воды в снежном покрове к началу снеготаяния, определяется [7];

Ψ_D и Ψ_T – общий коэффициент стока дождевых и талых вод соответственно, $\Psi_D = 0,45$ и $\Psi_T = 0,6$;

F – общая площадь стока, га.

В сложившейся экономической ситуации практически во всех городах Крыма отсутствует регулярная мойка дорожных покрытий, следовательно, в расчетах среднегодового объема поверхностных сточных вод величиной W_M можно пренебречь, с целью недопущения искажения полученных результатов.

Среднегодовое количество атмосферных осадков, поступившее на территорию г. Феодосия, определяется согласно [7] и составляет 439 мм. По данным [8] на территории города отмечается увеличение суммарного количества выпавших атмосферных осадков. На рис. 1 представлена графическая зависимость поступления атмосферных осадков за период 2006-2010 гг.

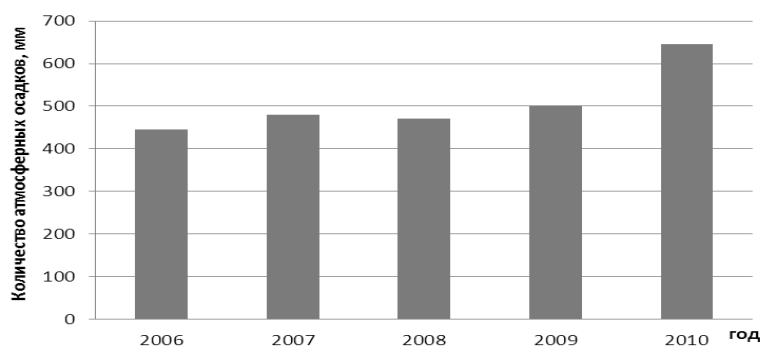


Рисунок 1 – Среднее количество осадков на территории г. Феодосия за период 2006-2010 гг. [8]

Анализируя полученную графическую зависимость можно сделать вывод, что в ближайшее время сохранится тенденция увеличения выпадения атмосферных осадков, которые в свою очередь будут способствовать увеличению миграции ЗВ в прибрежную зону моря.

При расчете среднегодового объема дождевых (W_D) и талых (W_T) вод по формулам (3) и (4) используется значение площади города (F) в пределах административных границ, не учитывая при этом особенности характера городской территории, что ведет к значительным расхождениям с результатами аналитических исследований (табл. 1).

Таким образом, для проведения оперативных расчетов по определению загрязнения прибрежной зоны моря ливневым стоком с городской территории необходимо усовершенствование данной методики путем введения дополнительных параметров и коэффициентов, учитывающих особенности характера рельефа и типа подстилающей поверхности.

Так как основными источниками загрязнения ливневого стока с городской территории являются передвижные и стационарные источники необходимо более детально рассмотреть параметры зон загрязнения, с которых происходит формирование ливневого стока и дальнейший сброс в прибрежную зону моря.

Для проведения расчета по определению потока примеси на подстилающую поверхность от линейного (транспортный поток) и точечного (стационарного) источника p_0 автором была использована разработанная Методика расчета рассеивания примесей в

пограничном слое атмосферы [9], с применением модифицированной формулы О.Г. Сеттона [10]:

$$p_0 = \frac{Q \cdot \omega}{H^2 \cdot U} \cdot \Phi(v), \quad (1)$$

где p_0 – поток примеси на подстилающую поверхность;
 Q – количество выпущенной примеси;
 ω – скорость гравитационного оседания частиц примеси;
 H – высота источника;
 U – средняя в слое от 0 до H скорость ветра;
 $\Phi(v)$ – безразмерная функция параметра v для линейного источника.

Так рассеивание оседающей примеси происходит в приземном слое ($H = 2$ м), то на формирования параметров зоны загрязнения влияет шероховатость подстилающей поверхности (z_0), параметр вертикального рассеивания (B), зависящий от параметра устойчивости (n).

Методика [9] разработана для слабовыраженного рельефа средней полосы и не является применимой для расчета в особенных условиях – предгорный и горный рельеф, аномальные профили ветра, штиль.

Автором на основании экспериментальных исследований для урбанизированной территории города был определен параметр вертикального рассеивания B^* (данные автора) для $z_0 = 60, 80, 100, 120$ и $n = 4, 5, 6, 7$ при $H = 2$ м [11], рассчитанный методом экстраполяции данных с предварительной степенной аппроксимацией (рис. 2), т.е. $B^* = f(z_0, n)$.

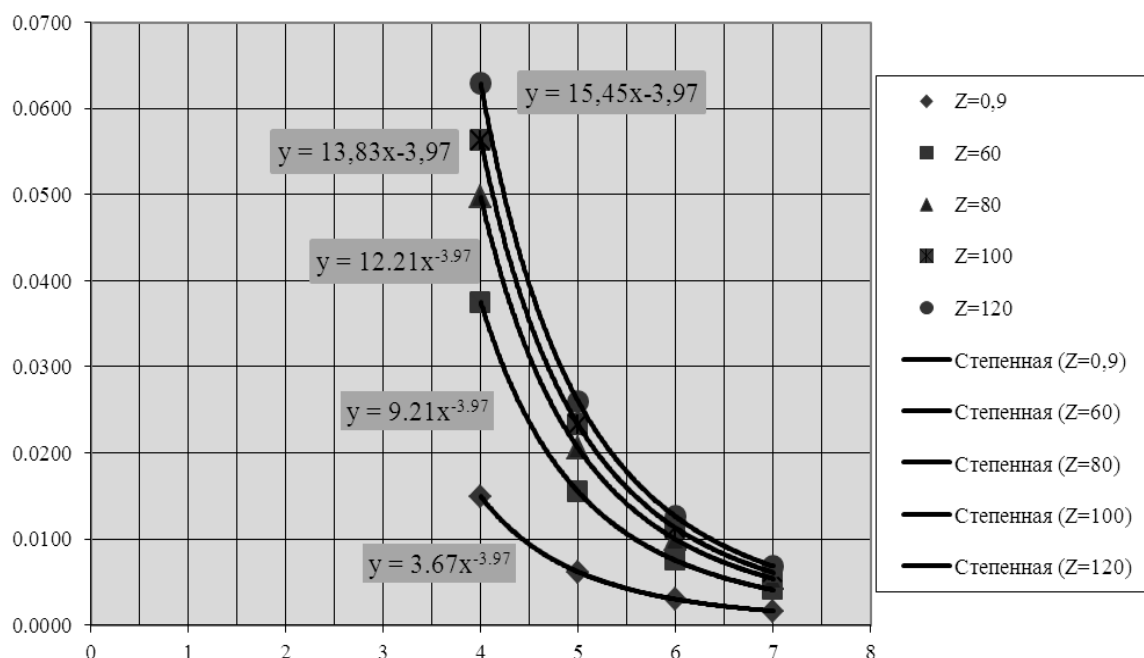


Рисунок 2 – График степенной аппроксимации зависимости B^* от n и z_0

В табл. 2 представлена зависимость параметра вертикального рассеивания B^* от параметра устойчивости (n) и шероховатости поверхности (z_0).

Таблица 2 – Зависимость параметра V^* от n и z_0

n		4	5	6	7
V^* расч	$z_0=0,9$	0,0149	0,0062	0,0030	0,0016
V^* расч	$z_0=60$	0,0375	0,0155	0,0075	0,0041
V^* расч	$z_0=80$	0,0497	0,0205	0,0099	0,0054
V^* расч	$z_0=100$	0,0563	0,0232	0,0113	0,0061
V^* расч	$z_0=120$	0,0629	0,0259	0,0126	0,0068

При проведении расчетов рассеивания оседающей примеси от точечного и линейного источника были определены значения ряда безразмерных параметров согласно [9] в зависимости от значения вертикальной диффузии, скорости оседания «весомой» примеси, средней в слое скорости ветра. Проведенный корреляционный анализ полученных линейных зависимостей показал значение коэффициента корреляции в интервале от 0,99 до 1,00, что свидетельствует о наличии строгой линейной функциональной связи между коррелируемыми параметрами.

Кроме параметра, определяющего зону загрязнения, в формулу (1) необходимо ввести коэффициент K^* (данные автора), учитывающий неоднородность подстилающей поверхности городской территории и угол наклона рельефа местности (табл. 3).

Таблица 3 - Значения поправочного коэффициента K^* для расчета C_i учитывающий тип подстилающей поверхности и наклон рельефа i°

Тип подстилающей поверхности	Угол наклона рельефа, i°			
	0,01-0,5	0,6-1,4	1,5-2,4	2,5-4,0
	K^* , м ² /кг			
Газоны, зеленые насаждения	1,8	2,2	2,8	3,5
Кварталы с дорожным покрытием	1,2	1,5	1,9	2,4
Транспортные магистрали	1,8	2,2	2,8	3,3
Гравийное покрытие железной дороги	1,8	2,3	2,7	4,5

Использование рассчитанных параметров для городских территорий позволяет определить параметры зоны загрязнения с заданной точностью, что подтверждается результатами аналитических исследований отобранных проб почв и техногенных отложений в районе действия источников загрязнения на городской территории. Следовательно, формула (1) примет вид:

$$ПДС_{\text{вып}} = \alpha \cdot W_r \cdot p_0 \cdot K^*, \quad (5)$$

где $ПДС_{\text{вып}}$ – предельно допустимый годовой сброс ЗВ, поступающий в водный объект, г/год;

α – коэффициент, учитывающий растворимость тяжелых металлов I и II класса опасности в воде, мг/л (табл. 4);

W_r – среднегодовой объем поверхностных сточных вод, м³/год;

p_0 – поток примеси на подстилающую поверхность, г/м²;

K^* – коэффициент, учитывающий неоднородность подстилающей поверхности городской территории и угол наклона рельефа местности, м²/кг.

Таблица 4 – Коэффициент растворимости тяжелых металлов I и II класса опасности в воде (α) [12]

Химический элемент (металл)	Класс опасности	Коэффициент растворимости в воде, α , мл/л
Pb	I	0,002
Zn		0,005
Be		0,0001
Co	II	0,0005
Ni		0,005
Mo		0,001
Cu		0,0005
Cr		0,005
Li	III	0,001
Ba		0,025
V		0,01
Mn		0,002
Sr		0,001

Результаты экспериментальных исследований и проведенного расчета с применением коэффициентов автора для оперативной оценки загрязнения прибрежной зоны моря сбрасываемыми ливневыми стоками с территории города Феодосия представлены в табл. 5.

Таблица 5 – Сводная таблица расчета загрязнения прибрежной зоны моря сбрасываемыми ливневыми стоками

	Параметр					
	$C_{ПДС(Pb)}$, мг/дм ³	W_r , м ³ /год	p_0 , г/м ²	K^* , м ² /кг	α (Pb), мг/л	$ПДС_{ВЫП}$, г/год
Расчет по [8]	0,0004	$74541 \cdot 10^3$	-	-	-	29,82
Расчет с учетом поправочных коэффициентов	-	$74541 \cdot 10^3$	0,036	3,3	0,002	17,71
Результаты аналитических исследований	-	-	-	-	-	12,78

Исходя из полученных результатов (табл. 5) применение методики [9] для оперативного расчета загрязнения прибрежной зоны моря сбрасываемыми ливневыми стоками с урбанизированной территории города без учета дополнительных коэффициентов приводит к значительным ошибкам.

Разработанная методика оперативного расчета определения ПДС_{вып} загрязняющих веществ поступающих с ливневым стоком в прибрежную зону моря с учетом разработанных автором дополнительных коэффициентов дает погрешность в 28% между рассчитанными результатами и результатами аналитических исследований, что отвечает качеству прогнозной информации.

Выводы:

1. Для приморских городов актуальным является вопрос качества морской воды прибрежной зоны. Одним из источников загрязнения морской акватории является ливневый сток с городской территории и площадок предприятий.

2. Усовершенствованная математическая модель для расчета оседающей примеси в приземном слое атмосферы от различных источников позволяет учесть различные метеоклиматические условия и особенности подстилающей поверхности территории

приморських городів, розположених в передгорному рельєфі, впливаючі на формування забруднення ливневих стоків.

3. Розроблена методика оперативного розрахунку концентрації ЗВ, поступаючих в прибережну зону моря з ливневими стоками, дозволяє з мінімальною погрешністю оцінити забруднення екосистеми прибережної зони моря.

Список литературы

1. Стольберг Ф.В. Экология города: уч. [для студ. высш. уч. зав.] / Ф.В. Стольберг, В. Н. Ладыженский. – К.: Либра, 2000. – 464 с.
2. Муровская А.С. Формирование поверхностного стока с городской территории и территорий промышленных предприятий приморских городов (на примере г. Феодосия) / А.С. Муровская, Н.А. Сологуб / Общегосударственный научно-технический журнал «Проблеми екології». - 2011. - Выпуск 27. — С. 18-24.
3. Перечень предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно допустимых количеств (ОДК) химических веществ в почве: СанПиН 6229-91. – [действующий]. – М.: ГосКом Санитарно-Эпидемиологического Надзора РФ, 1991. – 9 с.
4. Особенности геохимического загрязнения примагистральных территорий от передвижных источников / [С.П. Муровский, Н.А. Сологуб, Д.Н. Мищенко, В.А. Жаров] // Общегосударственный научно-технический журнал «Проблеми екології». – 2012. – № 1 – 2. – С. 24-31.
5. Правила контролю за відведенням дощових і снігових стічних вод з територій міст і промислових підприємств: ДСТУ 3013-95. – [дійсний]. – К.: Гідросфера, 1995. – 10 с.
6. Рекомендации по расчету систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока с селитебных территорий, площадок предприятий и определению условий выпуска его в водные объекты / Утверждено Росстрой РФ: ФГУП «НИИ ВОДГЕО». - 2004. – 113 с.
7. Строительная климатология и геофизика: СНиП 2.01.01-82. – [действующий]. – М.: Госстрой, 1982. – 140 с.
8. Климатический паспорт Крыма: стат. сборник. – Симферополь: Гидрометцентр в АРК, 2010. – 75 с.
9. Бызова Л.Н. Методическое пособие по расчету рассеяния примесей в пограничном слое атмосферы / Л.Н. Бызова. – М.: Гидрометеиздат, 1973. – 70 с.
10. Уорк И. Згрязнение воздуха: источники и контроль / И. Уорк, С. Уорнер. - М.: Мир, 1980. – 539 с.
11. Murovskaya A. 2011: Influence of vehicles on pollution of atmospheric air of seaside towns / A. Murovskaya, Z. Sapronova, S. Murovskiy // TeKa – XI, Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture. - 73-81.
12. Третьяков Ю.Д. Химия: справочник / Ю.Д. Третьяков, Н.И. Олейников. – М.: Просвещение, 1988. – 223 с.

Надійшла до редакції 10.04.2013

А.С. МУРОВСЬКА

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ОПЕРАТИВНОГО РОЗРАХУНКУ КОНЦЕНТРАЦІЇ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН, ЩО ПОСТУПАЮТЬ В ПРИБЕРЕЖНУ ЗОНУ МОРЯ ІЗ ЗЛИВОВИМ СТОКОМ

У даній роботі розглянута математична модель комплексного розрахунку забруднення прибережної зони моря зливовим стоком, що скидається з міської території. Розроблені та обґрунтовані додаткові коефіцієнти, що дозволяють врахувати кількісні особливості стоку атмосферних опадів з урахуванням типу підстилаючої поверхні міської території і розрахунку якісних параметрів зони забруднення від різних джерел.

Ключові слова: *прибережна зона моря, зливовий стік, розсіювання, рельєф, Феодосія.*

A. MUROVSKAYA

MATHEMATICAL MODEL OF PROMPT CALCULATION OF CONCENTRATION OF CONTAMINANTS COMING NEARSHORE WITH STORM OVERFLOW

The paper considers a mathematical model of calculating nearshore contamination by the storm overflow from urban areas. We developed additional coefficients, which allow considering quantitative peculiarities of atmospheric precipitation and storm overflow formation taking into account underlying surface of urban areas and calculation of the parameters of the areas contaminated from various technogeneous sources.

Keywords: *nearshore, storm overflow flow, dispersion, relief, Feodosiya.*

© Муровская А.С., 2013