

Р. Е. Калиакпаров^{1}*

Создание модели распространения загрязнений в атмосферу от Цементного завода и ТЭЦ в г. Семей

¹ Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск,
Российская Федерация
* e-mail: kaliakparov1@vk.com

Аннотация. Для прогнозирования загрязнения воздуха от стационарных источников, а также при повышенных технологических или аварийных выбросах, используются модели распространения примесей в атмосфере. В данной работе целью было определить концентрацию загрязняющих веществ от одного источника с помощью модели Паскуилла-Гиффорда на территории города Семей в Республике Казахстан. Построение итоговой модели загрязнения происходило в программном продукте ArcGIS и включало три этапа: подготовку картографической основы, сбор информации о стационарном источнике загрязнения и моделирование загрязнения от одного источника. За картографическую основу была принята базовая карта Open Street Map, а информация о стационарном источнике загрязнения была получена из открытых источников, включая высоту дымовой трубы ТЭЦ-1 и количество выбросов в атмосферу за год. В результате работы была получена модель концентрации примеси, которая была представлена в виде струи с гауссовым распределением по вертикали и в поперечном направлении ветра от непрерывного точечного источника (ТЭЦ-1).

Ключевые слова: Модель загрязнения, точечный источник загрязнения, расчет концентрации выбросов в атмосферу, представление на карте концентрации веществ

Р. Е. Калиакпаров^{1}*

Building a Model for the Spread of Pollutants from Cement Plant and Thermal Power Plant Into the Atmosphere in the City of Semey

¹ Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
* e-mail: kaliakparov1@vk.com

Abstract. Models of pollutant dispersion in the atmosphere are built to forecast pollution from stationary sources and for cases of increased technological or accidental emissions. The aim of this study is to calculate the concentration of pollutants from a single source using the Pasquill-Gifford model in the city of Semey, Kazakhstan. This model is widely recognized as the most advanced of the practically applicable models. The process of building the final pollution model took place in the ArcGIS software and consisted of three stages: preparing the cartographic base, collecting information about the stationary pollution source, and modeling pollution from a single source. The base map used was Open Street Map (OSM), and data on the stationary pollution source were obtained from open sources (the height of the smokestack of the TPP-1 and the amount of emissions into the atmosphere per year). The result of the study was the presentation of the concentration of pollutants emitted by a continuous point source (TPP-1) as plumes with Gaussian distributions in the vertical and crosswind directions.

Keywords: Pollution model, point source of pollution, calculation of emission concentration into the atmosphere, representation of substance concentration

Введение

Загрязнение атмосферы – это одна из основных проблем экологии современного мира. Все большее количество различных веществ попадает в атмосферу и влияет на здоровье человека и окружающую среду. Для того, чтобы эффективно бороться с этой проблемой, необходимо использовать математические модели, которые позволяют оценить и прогнозировать уровень загрязнения в различных условиях и на разных территориях [1].

Одной из основных экологических проблем города Семей в течение многих лет являются повышенные выбросы вредных веществ от промышленных предприятий и объектов теплоснабжения города. После многочисленных жалоб горожан эксперты проверили предприятие (ТЭЦ) и подтвердили факты нарушения экологических норм. Выбросы на ТЭЦ превышали допустимые нормы в 21 раз, а котельные устарели и имели дыры на некоторых трубах [2]. Все это связано с тем, что на большинстве теплоэлектроцентралей в Казахстане используются котельные установки и прочее оборудование, которые были спроектированы и построены несколько десятилетий назад. В то время основным приоритетом для инженеров и персонала, занимающегося эксплуатацией, было обеспечение эффективного сжигания топлива: высокий КПД, минимальные потери и долгосрочная безотказная работа. Но так как глобально и оперативно изменить ситуацию очень трудно (сроки постройки и введения в эксплуатацию новой ТЭЦ-3 пока неизвестны), то в данный момент остается актуальной задача построения математических моделей, которые позволяют оценить и прогнозировать уровень загрязнения [6].

В 2010 году житель города подал официальную жалобу в областную природоохранную прокуратуру, указывая на нарушение экологического законодательства заводом. В ответ на жалобу власти провели проверку и обнаружили, что выбросы пыли в воздух превышают предельно допустимые концентрации (ПДК) [3].

Используемая в данной работе модель Паскуилла-Гиффорда основывается на представлении концентрации примеси, выделяемой непрерывным точечным источником в атмосфере, в виде струй с гауссовыми распределениями в вертикальном и поперечном направлениях относительно направления ветра.

Модель применима для описания распределения примеси от высоких точечных источников, которые действуют непрерывно. Это означает, что примесь распространяется на значительное расстояние, превышающее размеры самого источника, и время его работы достаточно для установления стационарного поля концентрации. На практике это означает, что время работы источника должно быть не менее нескольких десятков минут или даже нескольких часов. Примерами таких источников могут быть дымовые трубы и вентиляционные системы промышленных предприятий.

Цель работы заключается в определении выбросов загрязняющих веществ от двух предприятий с помощью модели Паскуилла-Гиффорда для выявления частей города, которые наиболее подвержены вредному воздействию.

Для достижения цели были выполнены такие *задачи*, как:

изучение принципа и технологии модели Паскуилла-Гиффорда;

выбор соответствующего программного обеспечения для построения выбранной модели;
 выбор двух объектов, выбрасывающих в атмосферу примеси;
 построение модели.

Характеристика объектов исследования

Исследуемые объекты находятся на территории г. Семей в Абайской области. Люди, проживающие вблизи двух промышленных объектов, не имеют сведений о содержании выбросов цементного завода и о том, как они могут негативно сказаться на их здоровье, поскольку эта информация недоступна. При построении модели используются условные данные, которые могут являться приближенными к фактическим. Пусть ТЭЦ-1 и Цементный завод выбрасывают в атмосферу чуть более 13-ти и 15-ти тысяч тонн газовых отходов соответственно. Отмечается, что в составе примесей, выбрасываемых ТЭЦ-1, могут содержаться радионуклиды. Это связано с тем, что в течение более 30-ти лет в качестве сырья для топки котлов используется уголь из месторождения

«Каражыра», расположенного на территории бывшего Семипалатинского испытательного ядерного полигона [4].

Создание картографической основы

Как было указано выше, в качестве картографической основы была принята базовая карта Open Street Map (OSM) в программе ArcGIS [11]. Данную карту необходимо задать в проекции Гаусса-Крюгера (Pulkovo 1942 GK Zone 14N, т.к. этот параметр дает минимальные искажения форм и масштабов).

Внесение данных об источнике загрязнения

Для внесения данных об источнике загрязнения в программу необходимо создать shape-файл в приложении ArcCatalog. Shape-файл представляет собой формат хранения геометрического местоположения и атрибутивной информации географических объектов. Для данного файла также необходимо задать проекцию Гаусса-Крюгера. Отмечу, что вся дальнейшая модель будет создаваться для ТЭЦ-1, а затем, построенную модель для ТЭЦ-1 можно применить и для Цементного завода, изменив исходные данные.

С помощью инструмента создания объектов отмечается на карте необходимый объект (ТЭЦ-1) и вносится в таблицу атрибутов информация о названии объекта, высоте трубы, количества выбросов в атмосферу в год. Далее рассчитывается количество выбросов в секунду (рис. 1).

	ShortName	H	Q t t y	Q g sec
▶	ТЭЦ-1	80	13.354	423.452808

Рис. 1. Внесенные и рассчитанные данные ТЭЦ-1 в таблице атрибутов

Построение модели Паскуилла-Гиффорда от источника загрязнения

Модель Паскуилла и Гиффорда – эмпирическая, предназначена для прогноза загрязнения стационарными источниками и для случаев повышенных технологических или аварийных выбросов. В основе модели – представление концентрации примеси, выбрасываемой непрерывным точечным источником в атмосфере, как струи с гауссовыми распределениями по вертикали и в поперечном к ветру направлении:

$$q(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y(x)\sigma_z(x)u} \times f_F f_W \times \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2(x)}\right) \times \left(\exp\left(-\frac{(z-h)^2}{2\sigma_z^2(x)}\right) + \exp\left(-\frac{(z-h)^2}{2\sigma_z^2(x)}\right)\right), \quad (1)$$

где x, y, z – декартовы координаты, ось z – вверх, ось x – по ветру; h – эффективная высота источника (то есть высота с учетом первоначального подъема перегретой струи); Q – мощность источника выброса; q – концентрация примеси в данной точке пространства; u – скорость ветра, усредненная по слою перемешивания; $\sigma_y(x)$ и $\sigma_z(x)$ – вертикальное и поперечное среднеквадратические отклонения концентрации примеси в атмосфере; f_F и f_W – поправки на обеднение облака за счет сухого осаждения примеси и ее вымывания осадками.

Сумма экспонент в формуле (1) соответствует поверхности земли, не поглощающей примесь, при абсолютном поглощении будет разность.

Основное содержание модели – обобщающие многочисленные экспериментальные данные, конкретные функции $\sigma_y(x)$ и $\sigma_z(x)$ и выражения для h, f_F и f_W [5].

Для проведения моделирования использовался инструмент Model Builder. Сначала необходимо получить растр ограничивающий область моделирования. Для этого применялся инструмент «Объекты в растр». В результате получается растр с размером пикселя 10 м, который будет соответствовать размеру области моделирования.

Требуется установить систему координат, которая начинается в месте источника загрязнения, используя «Евклидово направление» в качестве инструмента.

Для перехода к прямоугольной системе координат используется «Растровый калькулятор».

Может быть использовано скалярное произведение векторов, чтобы заново вычислить координаты точек в системе координат, которая связана с направлением ветра. Для этого применен «Растровый калькулятор», создающий два новых растровых слоя U и V .

Для учета турбулентности и скорости перемещения загрязняющих веществ в горизонтальном и вертикальном направлениях, можно ввести новые переменные. Для этого снова применен «Растровый калькулятор», создающий два дополнительных растровых слоя для σ_Y и σ_Z .

Для расчета концентрации загрязнений используется информация о количестве выбросов из поля Q_q_s и о высоте трубы из набора данных. Затем, исполь-

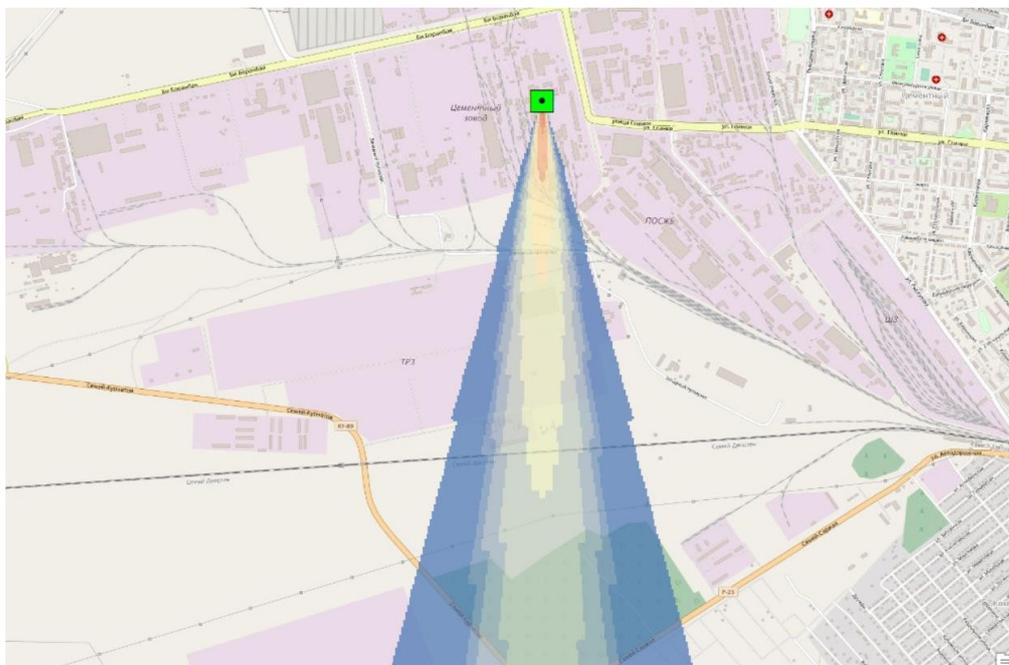


Рис. 3. Итоговый результат. Модель загрязнения Цементного завода.
Масштаб 1:20 000

Применение результатов модели при оценке стоимости участков, подверженных влиянию выбросов

Одним из способов применения модели возможна оценка кадастровой стоимости участков с учетом экологического фактора. На государственном сайте «Управления земельных отношений Восточно-Казахстанской области» размещен модуль, который рассчитывает кадастровую стоимость участков, а также стоимость земельного налога и арендной платы [10]. Фрагмент геопортала изображен на рис. 4. Используя построенную модель с внесенными актуальными значениями выбросов за единицу времени, можно определить ареалы загрязнения от предприятий и ввести коэффициент за экологический фактор.



Рис. 4. Фрагмент геопортала с изображением участка в м. Бобровка с указанием кадастровой стоимости и налога

Заключение

В данной работе построена модель концентрации загрязняющих веществ от двух объектов согласно модели Паскуилла-Гиффорда на территории города Семей. Как отмечалось выше, модель может послужить для прогнозирования и определения повышенных выбросов в атмосферу, а также может применяться для целей градостроительства при постройке жилых домов с целью минимизации влияния загрязняющих веществ. При появлении новых сведений для конкретной местности модель несложно изменять.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Загрязнение воздуха – одна из главных угроз для человека и планеты. Режим доступа: <https://news.un.org/ru/story/2021/09/1409462>, свободный (Дата обращения: 11.04.2023).
2. Kazakhstan Today. В Семей выбросы ТЭЦ превысили норму в 21 раз. Режим доступа: https://www.kt.kz/rus/ecology/v_semee_vybrosy_tets_prevysili_normu_v_21_raz_1377910885.htm, свободный (дата обращения 16.04.2023).
3. Борьба семейчан за чистый воздух. Режим доступа: <https://rus.azattyq.org/a/cement-dust-all-over-the-house-semey-residents-fight-for-clean-air/31017136.html>, свободный (дата обращения 16.04.2023).
4. Краткие сведения о ТЭЦ-1. Режим доступа: <https://energybase.ru/power-plant/semey-trp-1>, свободный (дата обращения 16.04.2023).
5. Модель Паскуилла-Гиффорда. Режим доступа: <http://www.ecologyman.ru/97/38.htm>, свободный (дата обращения 17.04.2023).
6. Рябышенков А.С., Волкова Е.А. «Построение автоматизированной системы мониторинга окружающей среды» // В сборнике: Синтез науки и образования в решении экологических проблем современности. материалы Международной научно- практической конференции, посвященной Всемирному дню охраны окружающей среды. Воронеж, 2022. С. 243-249.
7. Васильев А.В, Комлик Е.А., Терещенко Ю.П. «Динамические карты загрязнений окружающей среды» // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2017. № 4 (28). С. 106-120.
8. Сидорова Г.П., Авдеев П.Б., Якимов А.А., Овчаренко Н.В., Маниковский П.М. «Мониторинг состояния окружающей среды на территориях, вовлеченных в обращение углей с повышенным содержанием естественных радионуклидов» // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2019. № 12. С. 102-113.
9. «Краткие сведения о Цементном заводе г. Семей» – [Электронный ресурс] // <https://energybase.ru> : [сайт]. – URL: <https://energybase.ru> (дата обращения 16.04.2022). – Режим доступа : общий доступ.
10. «Управление земельными отношениями Восточно-Казахстанской области» – [Электронный ресурс] // <https://vkomap.kz> : [сайт]. – URL: <https://vkomap.kz/web/> (дата обращения 05.12.2022). – Режим доступа : общий доступ.
11. Open Street Map – картографическая основа» – [Электронный ресурс] // <https://www.openstreetmap.org/> : [сайт]. – URL: <https://www.openstreetmap.org/> (дата обращения 05.12.2022). – Режим доступа : общий доступ.

© П. Е. Калиакпаров, 2023