

УДК 625.042

Е. Н. Жданова, А. А. Минина

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет "ЛЭТИ" им. В. И. Ульянова (Ленина)

Оценка экологического состояния района города Норильска на базе геоинформационных систем

Описывается разработка ГИС-проекта, позволяющего оценивать экологическое состояние г. Норильска и окрестностей. Рассмотрены вопросы построения моделей на базе ГИС. Приведены алгоритм и описание скрипта, разработанного на языке программирования Python.

Геоинформационные системы, мониторинг, загрязнение воздуха, моделирование, топооснова, Python, ОНД-86

Норильск – крупнейший промышленный город на севере Красноярского края за Полярным кругом. Один из самых экологически загрязненных городов в мире.

Масштабы техногенных процессов обуславливают большие объемы рассеивания многих химических элементов и вызывают накопления в окружающей среде соединений в несвойственных природе сочетаниях. Таким образом, загрязнение

воздушного бассейна становится реальным препятствием научно-технического прогресса в городах, действие которого будет постоянно усиливаться по мере повышения требований к чистоте технологий.

Повышенная концентрация загрязняющих веществ наблюдается в атмосфере практически каждого промышленного города, поэтому возни-

№	Предприятие	Вид деятельности
1	ОАО «ГМК "Норильский никель"»	Поиск, разведка, добыча, обогащение и переработка полезных ископаемых, производство, маркетинг и реализация цветных и драгоценных металлов
2	Норильский горно-металлургический комбинат	Предприятие по производству цветных металлов
3	Рудник «Таймырский»	Добыча богатой руды
4	Рудник «Октябрьский»	Добыча руды
5	Рудник «Комсомольский»	Добыча медистых и вкрапленных руд
6	Рудник «Скалистый»	Горнодобывающая промышленность
7	Медвежьи ручьи	Разработка полиметаллических руд открытым способом (взрывным)
8	Никелевый завод	Цветные металлы и сплавы
9	Талнахская обогатительная фабрика	Переработка богатых руд
10	Норильская обогатительная фабрика	Переработка вкрапленных руд, медистых руд
11	Медный завод	Переработки исходного медного никельсодержащего сульфидного сырья с получением чистой товарной меди при максимальном извлечении в сопутствующие полупродукты никеля, кобальта, драгоценных, платиновых и редких металлов
12	Надеждинский металлургический завод	Гидрометаллургическое производство: переработка пирротинового концентрата, ранее складировавшегося в хранилищах. Пирометаллургическое производство: переработка никелевого и медного концентрата Талнахской обогатительной фабрики
13	Рудник «Ангидрит»	Выработка ангидридной щебенки
14	ГПП-44 (Главная понизительная подстанция)	Электроэнергетика/энергоснабжение

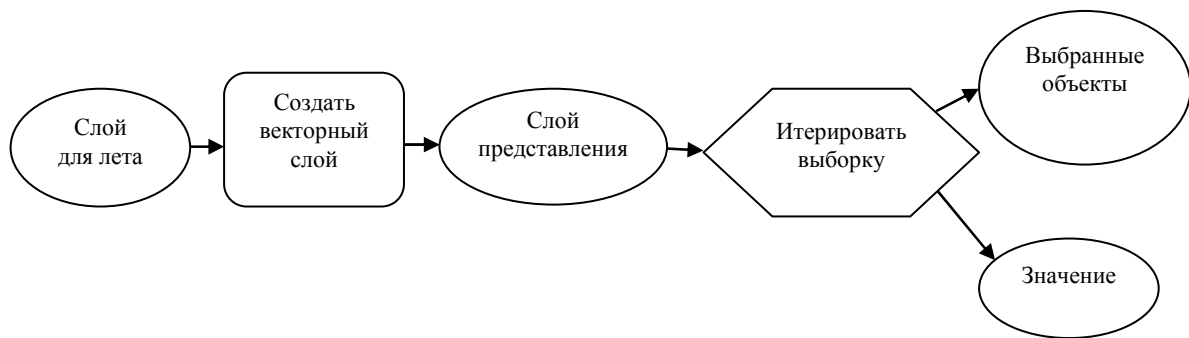


Рис. 1

кает необходимость в решении задачи оценки и моделирования распространения загрязняющих частиц в атмосфере именно от точечных стационарных источников с целью предотвращения или уменьшения их воздействия на экосистему.

Для получения достоверной информации о влиянии техногенных объектов на экологию города необходимо максимально учесть все особенности рассматриваемой территории: ее протяженность, рельеф, климатические условия, объем выбросов загрязняющих веществ, количество и состояние техногенных объектов и др. Для этого целесообразно применение геоинформационных систем (ГИС). ГИС дает возможность работать с пространственно распределенной информацией, для ее интегральной и согласованной обработки, что обеспечивает лицо, принимающее решение (ЛПР), полной, достоверной и оперативной пространственной информацией [1].

Для оценки экологического состояния Норильска и мониторинга техногенных объектов было решено разработать геоинформационный проект по Норильску (ГИС-проект). Для этого была создана пространственная топооснова проекта. На карту были нанесены рудники, горно-металлургические комбинаты, металлургические заводы, обогатительные фабрики. Также были найдены данные по выбросам этих предприятий. Следующий шаг – анализ найденных и нанесенных на карту данных. Обычно он включает наложение слоев, запросы атрибутов и местоположение объектов, пространственное моделирование.

На карту Норильска были нанесены предприятия, расположенные в городе и его окрестностях.

Был построен полигональный слой, включающий в себя железную дорогу и предприятия Норильского промышленного района, для наблюдения и анализа влияния техногенных объектов на железную дорогу.

В таблице представлены основные предприятия Норильского промышленного района.

Этот слой был разбит на ячейки одинакового размера для нанесения на карту направления ветров. Далее на карту были нанесены направления ветров с учетом их скорости по сезонам. Стрелки показывают, куда направлен ветер, а по размеру стрелки можно судить о силе (скорости) ветра.

Для автоматического отображения скорости и направления ветра по выбранному сезону была построена модель в среде графического программирования Model Builder [2]. Блок-схема модели для автоматического построения ветра за сезон приведена на рис. 1.

Для представления данных по ветрам в режиме реального времени с помощью Excel [3] создается веб-запрос и полученные данные добавляются на карту в ArcGis. Атрибутивная таблица для отображения скорости и направления ветра в режиме реального времени приведена на рис. 2.

	F1	F3	Последний ветер
▶ значение		направление	скорость
	ЮЗ 7м/с	225	7

Рис. 2

Для получения достоверной экологической информации о состоянии атмосферного воздуха используются различные методы анализа состояния окружающей среды. В данном случае это методика ОНД-86.

Для расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах промышленных предприятий, по методике ОНД-86 создан скрипт (программа) на языке программирования Python [2]–[4].

Скрипт на Python представляет последовательность команд для ввода данных, вычислений и других операций с данными и вывода результатов. Скрипты, разработанные на Python, встраиваются в систему ArcGis, превращаясь в язык анализа, преобразования данных, автоматизации картографических процессов.

При разработке скрипта предполагалось, что максимальное значение приземной концентрации

вредного вещества C_M [мг/м³] при выбросе газовой смеси из одиночного точечного источника с круглым устьем достигается при неблагоприятных метеорологических условиях на расстоянии X_M [м] от источника и определяется по формуле

$$C_M = \frac{AMFmn\eta}{H^2 \sqrt[3]{V_1 \Delta t}},$$

где A – коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы; M – масса вредного вещества, выбрасываемого в атмосферу в единицу времени, г/с; F – безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосферном воздухе; m и n – коэффициенты, учитывающие условия выхода газовой смеси из устья источника выброса [4]; η – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рельефа местности (в случае ровной или слабопересеченной местности с перепадом высот, не превышающим 50 м на 1 км, $\eta=1$); H – высота источника выброса над уровнем земли, м;

$$V_1 = \frac{\pi D^2}{4} \omega_0$$

– расход газовой смеси, м³/с (D – диаметр устья источника выброса, м; ω_0 – средняя скорость выхода газовой смеси из устья источника выброса, м/с); Δt – разность между температурой выбрасываемой газовой смеси (t_r) и температурой окружающего атмосферного воздуха (t_b), °С.

Значение коэффициента A , соответствующее неблагоприятным метеорологическим условиям, при которых концентрация вредных веществ в атмосферном воздухе максимальна, принимается равным: $A = 200$ (для Европейской части территории СССР: для районов РСФСР южнее 50° ю. ш., для остальных районов Нижнего Поволжья, Кавказа, Молдавии; для Азиатской территории СССР: для Казахстана, Дальнего Востока и остальной территории Сибири и Средней Азии).

При определении значения Δt [°С] следует принимать температуру окружающего атмосферного воздуха Δt_b [°С] равной средней максимальной температуре наружного воздуха наиболее

жаркого месяца года по СНиП 2.01.01–82, а температуру выбрасываемой в атмосферу газовой смеси Δt_r [°С] – по действующим для данного производства технологическим нормативам.

Значение безразмерного коэффициента F принимается:

– для газообразных вредных веществ и мелкодисперсных аэрозолей (пыли, золы и т. п., скорость упорядоченного оседания которых практически равна нулю) – 1;

– для мелкодисперсных аэрозолей (кроме указанных ранее) при среднем эксплуатационном коэффициенте очистки выбросов не менее 90 % – 2; от 75 до 90 % – 2.5; менее 75 % и при отсутствии очистки – 3.

Расстояние X_M [м] от источника выбросов, на котором приземная концентрация C [мг/м³] при неблагоприятных метеорологических условиях достигает максимального значения C_M , определяется по формуле

$$X_M = \frac{5 - F}{4} d H.$$

Максимальное значение приземной концентрации вредного вещества $C_{ми}$ [мг/м³] при неблагоприятных метеорологических условиях и скорости ветра v [м/с], отличающейся от опасной скорости ветра v_M [м/с], определяется по формуле

$$C_{ми} = r C_M,$$

где r – безразмерная величина, определяемая в зависимости от отношения v / v_M .

Расстояние от источника выброса $X_{ми}$ [м], на котором при скорости ветра v и неблагоприятных метеорологических условиях приземная концентрация вредных веществ достигает максимального значения $C_{ми}$ [мг/м³], определяется по формуле

$$X_{ми} = p X_M,$$

где p – безразмерный коэффициент, определяемый в зависимости от отношения v / v_M .

При опасной скорости ветра v_M приземная концентрация вредных веществ C [мг/м³] в атмосфере по оси факела выброса на различных расстояниях X_M [м] от источника выброса определяется по формуле

$$C = S_1 C_M,$$

где S_1 – безразмерный коэффициент, определяемый в зависимости от отношения X / X_M и коэффициента F .

Значение приземной концентрации вредных веществ в атмосфере C_V [мг/м³] на расстоянии y [м] по перпендикуляру к оси факела выброса определяется по формуле

$$C_V = S_2 C,$$

где S_2 – безразмерный коэффициент, определяемый в зависимости от скорости ветра v [м/с] и отношения y / X по значению аргумента t_y :

$$t_y = \frac{u y^2}{x^2} \quad \text{при } u \leq 5;$$

$$t_y = \frac{5 y^2}{x^2} \quad \text{при } u > 5$$

или по формуле

$$S_2 = \frac{1}{\left(1 + 5t_y + 12.8t_y^2 + 17t_y^3 + 45.1t_y^4\right)^2}.$$

Расчеты распределения концентрации C_z [мг/м³] на разных высотах z [м] над под-

стилающей поверхностью при $X < X_{MI}$ производятся по формуле

$$C_z = r C M S_z S_2.$$

Опасная скорость ветра v_{Mz} [м/с] на уровне флюгера, при которой на высоте z достигается максимальная концентрация, определяется по формуле

$$u_{Mz} = l_1 u_M.$$

Коэффициент определяется в зависимости от X / X_M , приведенному в методике ОНД-86.

При запуске скрипта задается путь в выходной таблице, куда будут записываться рассчитанные данные. Название столбца в таблице атрибутов указывается в самом скрипте.

В конечном итоге в созданную заранее атрибутивную таблицу будут записываться результаты расчета скрипта: расстояние X_M от источника выброса, на котором приземная концентрация при неблагоприятных метеорологических условиях достигает максимального значения; максимальная приземная концентрация C_M при выбросе газовой смеси из одиночного точечного источника с круглым устьем при неблагоприятных метеорологических условиях.

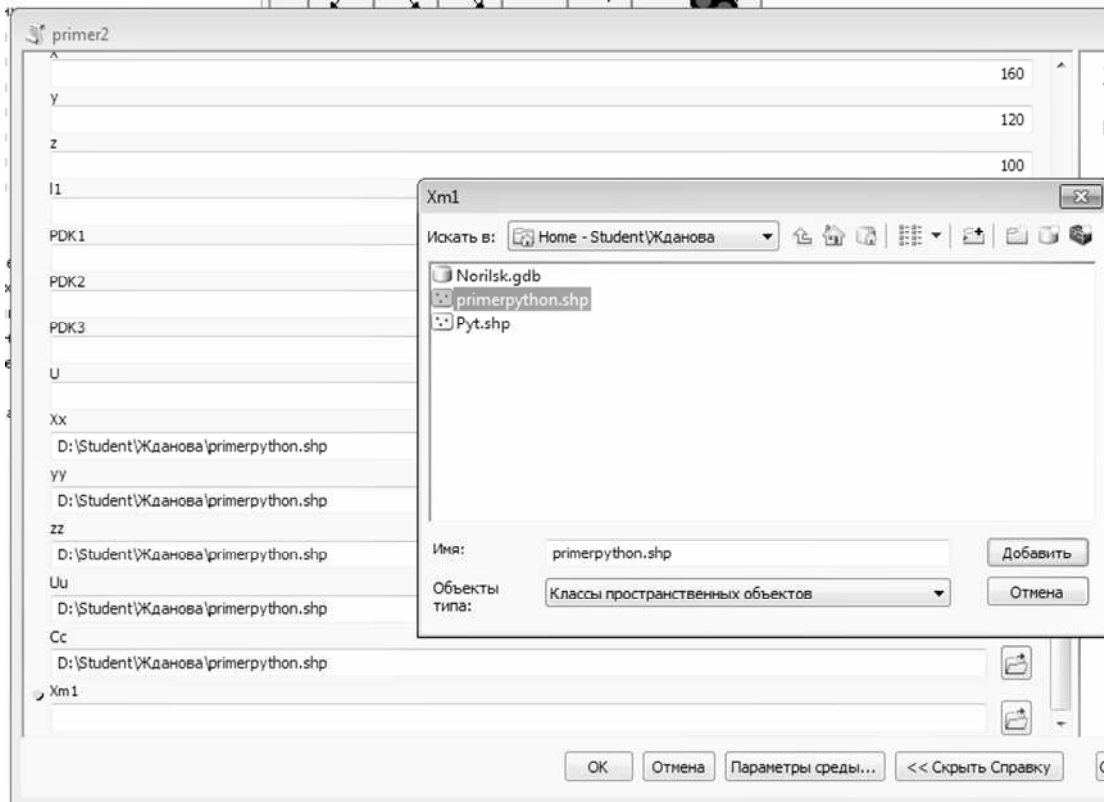


Рис. 3

После создания программы скрипт добавляется в ArcGis. Запустив его, необходимо ввести входные данные и указать путь к выходной таблице, что представлено на рис. 3 [5].

После выполнения скрипта в соответствующей таблице атрибутов можно увидеть рассчитанные и записанные значения максимальной приземной концентрации C_M и максимального расстояния X_M .

В дальнейшем планируется построение моделей распространения загрязняющих веществ с учетом скорости и направления ветра на основе рассчитанных концентраций с применением ГИС.

В результате выполнения работы будет получена модель распространения загрязнения атмо-

сферы от точечного стационарного источника и составлены результаты об экологическом состоянии города Норильска и его окрестностей для лиц, принимающих решения (администрация города, экологические станции). На основе полученных результатов можно будет оценить наличие опасных выбросов в наиболее загрязненных районах, оценить их влияние на железную дорогу и при необходимости сообщить об этом в соответствующие службы для своевременного принятия необходимых мер.

Данная работа финансируется Министерством образования и науки Российской Федерации (грант № 14.BVV.21.0117).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Минина А. А., Жданова Е. Н. Оценка экологического состояния города Норильска на основе геоинформационных систем // Геополитические факторы устойчивого развития Арктики и инновационные технологии прогнозирования и предотвращения чрезвычайных ситуаций: сб. науч. тр., посвященный 10-летию юбилею со дня образования Санкт-Петербургской науч. общественной организации «Арктическая общественная академия наук». СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2013. С. 60–64.

2. Бизли Д. Python. Подробный справ. М.: Символ-Плюс, 2010. С. 864.

3. Хахаев И. А. Практикум по алгоритмизации и программированию на Python. М.: Альт Линукс, 2011. С. 31–92.

4. ОНД-86 «Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий» [Электронный ресурс] Режим доступа: www.norm-load.ru/SNiP/Data1/2/2826/index.htm.

5. ArcGISResources. Справка ArcGIS 10.1 [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://resources.arcgis.com/ru/help/main/10.1/>.

E. N. Zhdanova, A. A. Minina
Saint-Petersburg state electrotechnical university «LETI»

ESTIMATION OF ECOLOGICAL CONDITION OF THE CITY NORILSK ON THE BASE OF GEOINFORMATION SYSTEMS

Describes the development of GIS project for assessing the ecological status of the city of Norilsk and the surrounding area. Addressed issues of building models based on GIS. Given algorithm and a description of the script developed in the programming language Python.

Geoinformation systems, monitoring, air pollution, simulation, топооснова, Python, OND-86
