

Разработка инструментария для оценки экологического воздействия при строительстве и эксплуатации транспортных проектов на примере ТКМ через Берингов пролив

*Иванникова Светлана Витальевна
Новосибирский государственный университет
Студент*

Аннотация

В статье рассматриваются возможности инструментария для оценки следующих экологических воздействий: атмосферного, антропогенного, электромагнитного, воздействия на водные ресурсы, оценки объема выделяемого парникового газа и количества потребляемой энергии; которые влияют на экологическую безопасность регионов. Продемонстрированы возможности технологии машинного обучения для данного типа проблем.

Ключевые слова: моделирование экологического ущерба, экологическая безопасность, машинное обучение

Development of tool for environmental impact emission of construction and operation of transport projects (based on an example of Intercontinental Transport Corridor via the Bering Strait)

*Ivannikova Svetlana Vital'evna
Novosibirsk State University
master student*

Abstract

The article is devoted to the research of the methods for assessment of environmental pollution, which were used to develop a software intended for experts in the field of ecology, in particular, to modeling and calculating key parameters affecting the environmental safety of regions. Machine learning algorithms are using to predict the GHG emissions and the energy consumed by the high-speed railway.

Keywords: ecological damage simulation, ecological safety, machine learning

Контроль источников экологического воздействия на окружающую среду – задача, требующая применения методов моделирования и прогноза, в том числе методов системного анализа и системной динамики. Не существует единой методики рассмотрения с точки зрения экологической безопасности таких крупномасштабных проектов как, например, ТКМ через Берингов пролив. Особенно важно учитывать взаимосвязанность факторов экологического воздействия.

В ходе исследования была поставлена проблема оценки ожидаемого экологического воздействия строительства и эксплуатации транспортных магистралей (в частности, ТКМ через Берингов пролив) на окружающую среду, а также сформулированы возможные подходы к ее разрешению. Для решения данной проблемы были предложены специальные методы и разработаны компьютерные средства поддержки процедур оценок такого рода.

На сегодняшний день однозначно не определено, на каких территориях будут пролегать участки магистрали. Рассматриваются северный и южный варианты строительства дороги для Чукотки: протяженность участка Якутск — Уэлен по северному варианту составит 3850 км и 4020 км по южному варианту; протяжённость подводного тоннеля также варьируется от 98 до 113 км. Со стороны Северной Америки планируется проложить путь Уэлс—Фербенкс — Форт Нельсон, протяженность которого составит 1925 км.

Проект подвергается критике как со стороны специалистов по проектированию железных дорог, так и со стороны экологов прежде всего потому, что основная часть пути пролегает в зонах с наиболее сложными климатическими условиями: минимальные температуры в таких районах могут достигать $-72,2^{\circ}$, условия строительства осложняются наличием многолетнемерзлых пород (ММП) с мощностью мёрзлой толщи преимущественно от 100 до 600 м.

Несмотря на то, что Россия обладает уникальным опытом реализации транспортных проектов в условиях сурового климата, следует также учесть, что условия эксплуатации ТКМ всё же радикально отличаются от условий любого из существующих в северных районах транспортного пути. Специфика территории не способствует эксплуатации необходимых конструкций, что сопряжено с высокой аварийностью, ведущей за собой различные проблемы экологического характера.

Для районов с менее суровым климатом актуальной задачей является прогнозирование, а в дальнейшем и осуществление учёта всех загрязняющих окружающую среду веществ; выявление процессов, негативно влияющих на окружающую среду, их описание и разработка мер по уменьшению пагубного воздействия, связанного со строительством и эксплуатацией ТКМ. Особенно остро стоит задача оценки влияния ТКМ на заповедники и заказники северных районов.

Унифицированного подхода к решению задач оценки экологической безопасности подобных мегатранспортных проектов не существует в силу их сложности и уникальности. С другой стороны, полученное в ходе исследования решение применимо для оценок безопасности при строительстве и эксплуатации менее сложных проектов, так как множество учитываемых факторов покрывает большое количество возникающих на сегодняшний день задач. В перспективе предполагается расширить разработанную программную систему с целью использования на различных примерах, параметры которых заданы пользователем.

В результате анализа существующих проблем, в качестве наиболее актуальных для оценки факторов были выявлены: расчёт объема и моделирование распространения веществ, загрязняющих атмосферный воздух; поле влияния электромагнитного излучения от линий электропередач; смещение ареала обитания животных в связи с появлением магистрали; влияние эксплуатации ТКМ на водные ресурсы; парниковый эффект, возникающий в результате эксплуатации высокоскоростных железной дороги; а также оценить количество энергии, потребляемой высокоскоростной железной дорогой.

Для решения подобных задач был предложен методический подход, на основе которого разработан программный инструментарий, позволяющий произвести расчёт, а также визуализировать экологический ущерб от строительства и эксплуатации ТКМ через Берингов пролив.

Функциональным назначением программной системы является предоставление её пользователю возможности произвести необходимые для анализа экологического ущерба расчеты выбросов загрязняющих веществ при строительстве и эксплуатации ТКМ через Берингов пролив за заданный период (с последующей визуализацией) на основе справочных данных или имеющихся у пользователя данных, таких, к примеру, как данные об оборудовании, используемом в технологическом цикле строительства, данные о параметрах окружающей среды, после чего происходит автоматическое определение области экологического влияния, т.е. составление схемы экологического ущерба и отображение данной схемы на карте. В дополнение к этому, пользователь также имеет возможность получить отчет о проделанных вычислениях в универсальном формате.

Система состоит из пяти модулей:

1. Модуль визуализации схемы рассеивания загрязняющих атмосферный воздух веществ;
2. Модуль диагностики экологической безопасности водных ресурсов;
3. Модуль оценки антропогенного воздействия на ареалы обитания животных и территории произрастания растений;
4. Модуль визуализации зоны электромагнитного воздействия;
5. Модуль прогнозирования объема парникового газа, выделяемого при эксплуатации высокоскоростной железной дорогой и количества потребляемой ей энергии.

Далее приведена теоретическая база каждого из перечисленных модулей.

Рассеивание загрязняющих атмосферный воздух веществ

Данный модуль позволяет пользователю не только провести расчет оценки ожидаемых показателей по объему и качественному составу выброса загрязняющих веществ, но и получить наглядную картографическую визуализацию результатов расчетов, помимо привычных таблиц.

При разработке этого модуля из различных типов используемых моделей было принято решение использовать уравнение турбулентной диффузии. [3]

При расчётах было использовано аппроксимированное уравнение турбулентной диффузии, таким образом, максимальная концентрация загрязняющего вещества (C_{max}) определяется при помощи следующего аналитического выражения:

$$C_{max} = \frac{1+0.45\frac{L}{x'_{max}}}{1+0.45\frac{L}{x'_{max}}+0.1\left(\frac{L}{x'_{max}}\right)^2} \frac{AMF_{m\eta\eta}}{H^2\sqrt[3]{V\Delta T}}, \text{ где:}$$

C_{max} – наибольшая концентрация вредной примеси (мг/м³),

L – длина линейного источника (м),

A – безразмерный коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы,

M – масса вредного вещества, выбрасываемого в атмосферу в единицу времени (г/с),

$F_{m\eta\eta}$ – безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосферном воздухе с учётом условий выхода газовой смеси из устья источника выброса и влияния рельефа местности,

H – высота источника выброса над уровнем земли (м)

ΔT – разность между температурой выбрасываемой газовой смеси и температурой окружающего атмосферного воздуха (°C),

x'_{max} – расстояние до проекции центра источника на земную поверхность (подставляется итеративно в зависимости от выбранного шага при построении изолиний),

V – расход газовой смеси, определяемый по формуле:

$$V = \frac{\pi\left(\frac{2LV_1}{L^2\omega_0V_1}\right)^2}{4} \omega_0,$$

где:

V_1 – расход выбрасываемой в единицу времени газовой смеси (м³/с)

ω_0 – средняя скорость выхода газовой смеси.

Все вычисления выполнены в соответствии с государственной методикой [1].

Исходя из выбранных пользователем параметров (в программной системе также предоставляется возможность автоматической подстановки рекомендуемых справочных значений), производится расчёт приземных концентраций и построение изолиний с указанием критических значений.

Диагностика водных ресурсов

Данный модуль предназначен для выявления водных объектов, требующих дополнительных мер по защите и охране окружающей среды, а также для визуализации контурных линий, описывающих новые направления

океанических течений в зоне пролегания межконтинентального тоннеля и расчёта показателей интенсивности потока.

Для оценки негативного воздействия при эксплуатации тоннеля ТКМ на акваторию были выбраны такие параметры, как температура, шумовое воздействие и глубина воды. Предполагается, что в местах с наименьшей глубиной изменится направление или интенсивность океанических течений.

Задача моделирования океанических течений была сведена к задаче плоского течения [2]:

$$\sum_{i=0,\dots,l} \left\{ -\frac{Rn}{mH} \varphi_{\bar{\theta}} - \overline{\left[\frac{l}{H} \varphi_{\bar{\lambda}} \right]} + Q_1 \right\} = 0$$

$$Q_1 = \frac{n}{\rho_0 m H} (\tau_1 + J_\lambda) - \frac{ng}{\rho_0} \int_0^1 \left(\frac{d}{d\lambda} H \int_0^z \rho dz - \frac{dH}{d\lambda} z \rho \right) dz,$$

$$Q_2 = \frac{1}{\rho_0 H} (\tau_2 + J_\theta) - \frac{ng}{\rho_0} \int_0^1 \left(\frac{d}{d\theta} H \int_0^z \rho dz - \frac{dH}{d\theta} z \rho \right) dz, \text{ где}$$

R – газовая постоянная воздуха

H – вспомогательная функция, описывающая поверхность дна океана (для простоты в данном исследовании было принято считать дно плоским),

$$l = -2 \omega \cos \theta, m = \frac{1}{r} \sin \theta, n = \frac{1}{r}, \text{ где}$$

ω – угловая скорость вращения Земли,

r – радиус Земли,

$\theta = \varphi + \frac{\pi}{2}$, где φ – широта,

λ – долгота (географическая),

g – ускорение свободного падения,

z – расстояние по вертикали от невозмущенной поверхности океана,

Q – функция, для удобства разбитая на 2 части и зависящая от компонент напряжения трения ветра на поверхности океана и интегралов по вертикали от плотности,

τ – компоненты напряжения трения ветра соответственно по осям.

J – описание бароклинных составляющих горизонтального потока на плоскую циркуляцию:

$$J_\lambda = \int_0^1 \left[-\cos \theta u' v' - m \frac{\partial}{\partial \lambda} (H(u')^2) - n \frac{\partial}{\partial \theta} (H u' v') \right] dz,$$

$$J_\theta = \int_0^1 \left[\cos \theta (u')^2 - m \frac{\partial}{\partial \lambda} (H u' v') - n \frac{\partial}{\partial \theta} (H (v')^2) \right] dz.$$

Задача плоского течения является краевой задачей, имеющей обязательное условие:

$$\frac{d}{dt} \int_{\Gamma_i} \frac{d\bar{\varphi}}{dn} d\Gamma_i + \int_{\Gamma_i} \left(\frac{R}{H} \frac{d\bar{\varphi}}{dn} + \frac{l}{H} \frac{d\bar{\varphi}}{ds} - Q_s \right) d\Gamma_i = 0, \text{ где}$$

$$\frac{d\bar{\varphi}}{dn} = \frac{n}{m} \cos(v, \theta) \frac{d\bar{\varphi}}{d\theta} + \frac{m}{n} \cos(v, \lambda) \frac{d\bar{\varphi}}{d\lambda}$$

v, s – направления внутренней нормали и касательной к контуру Γ_i ,

Q_s – касательная к Γ_i компонента вектора $Q = (Q_1, Q_2)$.

Данное условие является ключевым для описания океанических течений в области островов и материков.

Антропогенное воздействие на ареалы обитания животных и территории произрастания растений

Данный модуль разработан для построения на карте границ зоны угнетения флоры и фауны, а также расчёта возможной численности популяций видов, занесённых в Красную книгу.

Территории строительства ТКМ, расположенные в зонах заповедников и заказников, были исследованы на предмет выявления путей миграции наиболее редких диких животных, птиц и обитателей водной среды. При помощи экспертных оценок были построены предполагаемые пути миграции в изменившихся условиях.

Также был проведен анализ антропогенных и абиотических факторов, возникающих при строительстве и эксплуатации ТКМ, вследствие чего был определен набор лимитирующих параметров. Кроме того, в результате поиска критических значений лимитирующих параметров, превышение которых ведет к вымиранию исследованных популяций, была выявлена экологическая валентность территории по окончании строительства.

Диапазон экологического воздействия ТКМ на растения был выявлен также при помощи оценки крайних пороговых значений (точек минимума и максимума) данного фактора, при которых возможно существование организма. Таким образом, определены зоны угнетения популяций растений.

Определение зоны электромагнитного воздействия

Оценка воздействия была проведена в некотором приближении по существующим государственным методикам.

Линии электропередач, предусмотренные проектом строительства, будут оказывать на окружающую среду магнитное и гальваническое влияние. В работе было исследована сила электрического поля, создаваемого многоцепными коридорами линий, проходящими на территории строительства ТКМ, вследствие чего была выявлена зона с наиболее высоким значением, оказывающие негативное воздействие на здоровье человека.

Прогнозирование объема парникового газа, выделяемого при эксплуатации высокоскоростной железной дорогой, а также количества потребляемой ей энергии

При разработке данного модуля были применены технологии машинного обучения, так как данная подзадача исследования относится к классу задач регрессии.

В начале данной части исследования были собраны данные о пассажирских и грузовых железнодорожных перевозках в Канаде, после чего было выбрано оптимальное представление информации и осуществлена обработка данных в соответствии с этим представлением. Аналогичные признаки были выявлены и для территории РФ. Предполагается, что с помощью методов машинного обучения, примененных на множественных данных Канады и значениях исследуемых параметров для России, возможно

получить прогноз объема парникового газа и потребляемой высокоскоростной железной дорогой энергии на территории РФ. В результате была получена необходимая информация.

На примере полученного набора данных был выделен ряд признаков, с помощью которых были применены следующие методы машинного обучения: обучена нейронная сеть, использованы различные ансамбли решающих деревьев и линейные методы – линейная регрессия; алгоритм ридж–регрессии (англ. ridge regression), также называемый гребневой регрессией; градиентный бустинг над решающими деревьями и метод главных компонент.

После чего было произведено сравнение полученных моделей по метрике среднеквадратичной ошибки (Mean Squared Error, MSE), вследствие чего выявлено, что алгоритм градиентного бустинга над решающими деревьями дал наиболее приемлемый результат, который и был использован при разработке программной системы.

Библиографический список

1. Госкомгидромет. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. ОНД – 86. Л.: Гидрометеиздат, 1987.
2. Марчук Г.И., Дымников В.П., Залесный В.Б., Лыкосов В.Н., Галин В.Я. Математическое моделирование общей циркуляции атмосферы и океана. Л.: Гидрометеиздат. 1984. 320 с.
3. Соляник Н.А., Кушников В.А. Математическое моделирование процесса загрязнения атмосферного воздуха в зоне влияния промышленных предприятий // Вестник СГТУ. 2009. №1.