

# Оценка риска развивающихся территорий на базе функциональных геотаксонов

В. В. Алексеев

Санкт-Петербургский  
государственный  
электротехнический  
университет «ЛЭТИ»  
им. В.И. Ульянова (Ленина)  
vvalekseev@etu.ru

В. С. Брызгалю

Санкт-Петербургский  
государственный  
электротехнический  
университет «ЛЭТИ»  
им. В.И. Ульянова (Ленина)  
verabryzgalю@mail.ru

Н. В. Орлова

Санкт-Петербургский  
государственный  
электротехнический  
университет «ЛЭТИ»  
им. В.И. Ульянова (Ленина)  
nvorlova@etu.ru

**Аннотация.** В докладе рассматривается создание теоретических основ построения информационно-измерительной системы (ИИС) контроля воздействия промышленных производств на окружающую среду, оценка риска развивающихся территорий, подверженных воздействию опасных природных процессов и их взаимодействие с техногенными объектами. Приводится классификация геотаксонов по возможному нанесенному ущербу от различных воздействий, классификация возможных воздействий.

**Ключевые слова:** геотаксон; цифровая модель; оценка риска; ущерб; административное районирование; функциональное районирование

## I. ВВЕДЕНИЕ

Оценка риска загрязнения атмосферного воздуха вредными веществами представляет собой комплексный процесс, направленный на определение вероятности возникновения негативных последствий для здоровья населения и состояния экосистем. Анализируются воздействия химических, физических и биологических загрязнителей. Методология оценки включает идентификацию опасных веществ, анализ экспозиции, оценку зависимости «доза–ответ» и характеристику риска.

Загрязнение атмосферного воздуха является одной из ключевых экологических проблем, оказывающей влияние на здоровье человека, биоразнообразие и климатические процессы. Оценка риска позволяет количественно и качественно определить уровень опасности, а также разработать меры по снижению негативного воздействия.

Процедура оценки риска загрязнения атмосферы включает несколько этапов.

На первом определяется перечень приоритетных загрязнителей, обладающих токсичностью, канцерогенностью, мутагенностью или иными опасными свойствами – идентификация опасных веществ.

На втором оцениваются пути и интенсивность воздействия загрязнителей на экосистему, учитываются концентрация загрязняющих веществ в воздухе, временные параметры воздействия.

На третьем на основе общепринятых установленных нормативных документов учитываются критические уровни воздействия, такие как предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ (ЗВ).

Заключительный этап включает в себя обработку полученных данных о возможном ущербе, в частности представление в виде интегральной оценки степени опасности для территории в нормированном виде. При этом каждая оценка может быть представлена в виде слоя геоинформационной системы (ГИС), поддерживаемый соответствующей базой данных и программой её формирования.

## II. ИИС КОНТРОЛЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

В соответствии с Федеральным законом об охране окружающей среды [1] промышленные производства должны иметь систему – информационно-измерительная система (ИИС) контроля воздействия на окружающую среду в реальном времени, регистрирующую количество выбросов в атмосферу, превышение нормативов и передающую данные для анализа в сервер центральной информационной системы.

Современные ИИС представляют собой распределенные измерительные системы, в структуру которых входят локальные подсистемы, размещенные в местах выброса в атмосферу, сброса в водные объекты, и других видов воздействия на окружающую среду, которые обеспечивают контроль всех параметров в соответствии с российскими и международными стандартами.

Примеры средств измерений, которые используются на местах выбросов ЗВ для учета данных об их концентрациях и объеме представлены на рис. 1.



Рис. 1. Средства измерения для учета загрязняющих веществ

Проводимый с использованием ИИС экологический мониторинг позволяет также вычислить оценку риска развивающихся территорий, подверженных воздействию опасных природных процессов и их взаимодействию с техногенными объектами.

Обобщенная структура ИИС представлена на рис. 2.



Рис. 2. Обобщенная структура ИИС

Система включает следующие основные компоненты:

1. Сенсорные модули (датчики) – измерительные устройства, регистрирующие физико-химические и биологические параметры окружающей среды (концентрации загрязняющих веществ, уровень шума, радиационный фон, температуру, влажность и др.).

2. Блоки сбора и первичной обработки данных – микропроцессорные устройства, осуществляющие аналого-цифровое преобразование сигналов, фильтрацию и предварительную агрегацию данных.

3. Система передачи данных – каналы связи (проводные, беспроводные, спутниковые), обеспечивающие передачу информации на серверы мониторинга.

4. Центр обработки и хранения данных – серверные мощности и базы данных, где осуществляется долгосрочное хранение, статистическая обработка и визуализация информации.

5. Программное обеспечение аналитики и прогнозирования – алгоритмы машинного обучения, модели распространения загрязнений, системы поддержки принятия решений (СППР).

6. Интерфейсы представления данных – веб-порталы, мобильные приложения, API для интеграции с другими системами экологического мониторинга.

Современные ИИС контроля воздействия на ОС обеспечивают высокоточный, непрерывный мониторинг, что способствует своевременному принятию управленческих решений и минимизации экологического ущерба.

### III. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РИСКА РАЗВИВАЮЩИХСЯ ТЕРРИТОРИЙ

Риск – величина возможного нанесенного ущерба на развивающейся территории, умноженная на вероятность возникновения воздействия (воздействующего события)

$$R = PW,$$

где  $P$  – вероятность возникновения опасного события, которая зависит от вида технологического процесса, производства  $P=f(TП)$ ;  $W$  – возможный нанесенный ущерб, который зависит от типа геотаксона  $G$  или нескольких геотаксонов  $G_k$ , на которые оказывает воздействие указанное опасное событие;  $W = f(G, M, S)$ ;  $M$  – масса выброса в атмосферный воздух или сброса в водные объекты суши;  $S$  – объем ущерба и стоимость восстановительных работ.

Масса вредных веществ определяется объемом  $V$  и концентрацией  $C$  их выброса или сброса  $M=f(V, C)$ .

На рис. 3 представлена расчетная схема возможного нанесенного ущерба в геоинформационной технологии.

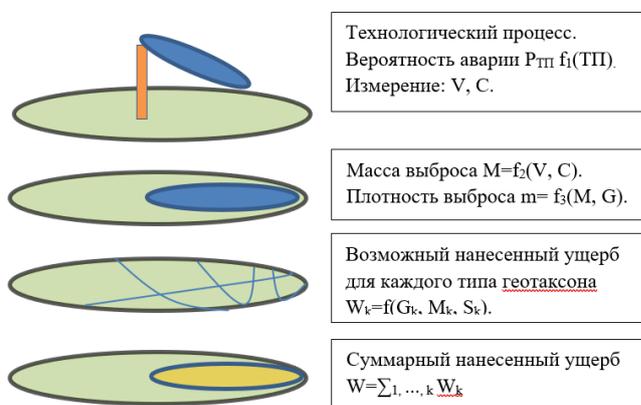


Рис. 3. Расчетная схема возможного нанесенного ущерба

Потенциальная природно-техногенная опасность территориальной системы – это вероятность возникновения опасных природно-техногенных процессов (или их комбинации), обладающих определёнными параметрами (например, энергетическими), в рамках заданной территориальной системы в течение установленного временного интервала.

Показатель (оценка) природно-техногенной опасности территории – количественная характеристика уровня опасности всей анализируемой географической зоны, полученная путём агрегирования оценок опасности отдельных территориальных единиц, сформированных в результате административного и функционального районирования [2].

Интегральный показатель (оценка) природно-техногенной опасности территориальной системы – количественная характеристика опасности, учитывающая совместное воздействие множества опасных природно-техногенных процессов в пределах геосистемы [3].

Для решения поставленной задачи необходимо провести классификацию геотаксонов по возможному нанесенному ущербу от различных воздействий и классификацию возможных воздействий (ТП).

#### IV. КЛАССИФИКАЦИЯ ПО ВОЗМОЖНОМУ НАНЕСЕННОМУ УЩЕРБУ ОТ ТЕХНОГЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Одним из видов воздействий, который может нанести ущерб экологической системе, являются техногенные факторы. Они могут в значительной мере повлиять на изменение химического состава, физических свойств и климатических характеристик атмосферы. Основными источниками антропогенного влияния являются промышленные выбросы, транспорт, энергетика и сельское хозяйство, представленные на рис. 4. Последствия включают загрязнение воздуха, разрушение озонового слоя, усиление парникового эффекта и изменение глобальных климатических паттернов.



Рис. 4. Техногенные воздействия

Основные источники техногенного воздействия:

##### 1.1 Промышленные выбросы

- Выбросы оксидов серы (SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>), азота (NO<sub>x</sub>), углекислого газа (CO<sub>2</sub>), тяжёлых металлов (Pb, Hg, Cd) и летучих органических соединений (ЛОС).
- Формирование кислотных дождей вследствие реакции SO<sub>2</sub> и NO<sub>x</sub> с атмосферной влагой.

##### 1.2 Транспортная эмиссия

- Автомобильные выбросы (CO, NO<sub>x</sub>, твёрдые частицы PM<sub>2.5</sub> и PM<sub>10</sub>).
- Образование приземного озона (O<sub>3</sub>) как вторичного загрязнителя.

##### 1.3 Энергетический сектор

- Сжигание ископаемого топлива (уголь, нефть, газ) – основной источник CO<sub>2</sub> и метана (CH<sub>4</sub>).
- Аэрозольные выбросы, влияющие на альbedo Земли и процессы конденсации облаков.

##### 1.4 Сельское хозяйство

- Эмиссия CH<sub>4</sub> (животноводство, рисовые чеки) и закиси азота (N<sub>2</sub>O) из удобрений.

- Выжигание биомассы, приводящее к выбросам сажи и CO.

Существует перечень утвержденных законом классов опасности загрязняющих веществ в атмосферном воздухе. Всего их 4, где 1 класс – это чрезвычайно опасные вещества, а 4 класс – малоопасные.

В качестве показателей опасности от техногенных воздействий берутся, в соответствии с методиками [4, 5], следующие оценки:

ТАБЛИЦА I. РАЗМЕР ВРЕДА И КЛАССЫ ОПАСНОСТИ ЗВ

Загрязняющее вещество	Токсичность	Экологический ущерб	Уровень опасности	Таксы за выброс 1 тонны загрязняющих веществ, руб.
Взвешенные вещества PM <sub>2.5</sub>	Высокая	Высокий		650000
Озон O <sub>3</sub>	Высокая	Средний	1	500000
Оксид азота NO <sub>2</sub>	Средняя	Высокий	3	64289
Оксид углерода CO	Средняя	Низкий	4	5000
Формальдегид	Высокая	Средний	2	50000
Тяжелые металлы (ртуть, свинец)	Очень высокая	Очень высокий	1	13650000

В свою очередь, источники выделения также можно классифицировать по следующим параметрам, представленным на рис. 5.

Признаки классификации										
технологическая принадлежность	характер действия		время действия	параметры источников выбросов						
	продукты сгорания	организованные		высота	вид	тип	температура			
технологические выбросы			постоянные	периодические	низкие	высокие	точечные	линейные	внутренние	внешние
					холодные	нагретые				

Рис. 5. Классификационные признаки источников выбросов

Таким образом, проведя классификацию геотаксонов по возможному нанесенному ущербу от различных воздействий и классификацию возможных воздействий можно получить результирующую интегральную оценку, где каждый показатель характеризует степень опасности для различных типов территорий.

$$Z_0^* = F(\text{SUM} \{ O_1, O_2, \dots, O_n \}),$$

где Z<sub>0</sub>\* – значение интегральной оценки опасности от загрязнения территории токсичными веществами; F – функция соответствия значений интегральной оценки результатам суммирования показателей опасности; {O<sub>1</sub>, O<sub>2</sub>, ... O<sub>n</sub>} – оценки различных возможных воздействий на территорию, которые представляются в

нормированном виде (нормированная качественная шкала). Поэтому интегральная оценка степени опасности загрязнения территории может быть получена в нормированном виде. Причем каждая оценка может быть представлена в виде слоя ГИС, поддерживаемый соответствующей базой данных и программой ее формирования.

#### V. КЛАССИФИКАЦИЯ ПО ВОЗМОЖНОМУ НАНЕСЕННОМУ УЩЕРБУ ОТ ПРИРОДНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Помимо техногенных стоит также учитывать и природные воздействия, риски от которых зависят от рассматриваемой территории. В данном случае рассмотрены примеры оценки возможного ущерба от природных воздействий для территории Ленинградской области.

ТАБЛИЦА II. ОЦЕНКА РИСКА ПРИРОДНЫХ УГРОЗ

Тип природной угрозы	Вероятность	Потенциальный ущерб	Уровень опасности
Подтопления	Высокая	Средний-высокий	4
Сильные ветра	Средняя	Средний	3
Аномальные температуры	Средняя	Средний	3
Снеговые нагрузки	Средняя	Низкий-средний	3
Просадки грунтов	Низкая	Низкий	2

Для того чтобы рассчитать стоимость ущерба, нанесенного природными явлениями, применяются нормативные акты РФ, ведомственные методики и практика судебных экспертиз.

Основные документы:

- ФЗ №7 «Об охране окружающей среды» (ст. 77–78) – общие принципы возмещения вреда.
- Постановление Правительства РФ №273 (2007) – методика расчёта вреда от загрязнения и деградации земель.
- Региональные нормативы (для СПб и Ленобласти).

#### VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, оценка риска загрязнения развивающейся территории представляет собой важный инструмент в формировании комплексной картины экологического состояния территориальных объектов. Совершенствование методов моделирования и мониторинга позволяет повысить точность прогнозов и минимизировать негативные последствия антропогенного воздействия.

Оценка степени опасности определяется для конкретной территории с помощью проведения классификации возможного нанесенного ущерба от различных воздействий и классификации возможных воздействий и может быть представлена в виде интегральной оценки степени опасности. Которая, в свою очередь, может быть реализована в виде слоя и базы данных в геоинформационной системе, а значит внедряться в ИИС контроля воздействия на окружающую среду.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Федеральный закон от 28 апреля 2023 г. N 177-ФЗ "О внесении изменений в Федеральный закон "Об охране окружающей среды" и Федеральный закон "О проведении эксперимента по квотированию выбросов загрязняющих веществ и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в части снижения загрязнения атмосферного воздуха"
- [2] Алексеев В.В., Орлова Н.В., Вавилов Р.Е., Брызгалов В.С. Классификация геотаксонов по степени карбонового воздействия //Межд. конф. по мягким вычислениям и измерениям по мягким вычислениям и измерениям (SCM-2022). СПб. 2022 г Т.1. С. 215-217.
- [3] Марченко П.А. Геоинформационные модели и методы интегральной оценки природно-техногенной опасности территориальных систем: дис.... докт.техн.наук / Институт информатики и проблем регионального управления Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2010.
- [4] Методика исчисления размера вреда, причиненного атмосферному воздуху как компоненту природной среды / приказ Минприроды России, 28 января 2021 г. № 59
- [5] СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания"