

# Модель потенциальной радоноопасности территории. Использование метода kriging и Global Positioning System

М. Калашникова<sup>1</sup>

УДК 504.05 | ВАК 2.2.8

Представлены обоснования применения Global Positioning System и метода kriging для построения математической модели потенциальной радоноопасности территории. Проанализированы детерминированные и гемостатические методы интерполяции. В рамках исследования был проведен полевой эксперимент, в котором были получены данные объемной активности радона на территории Санкт-Петербурга. Также была разработана геоинформационная система объемной активности радона на территории Санкт-Петербурга с применением Global Positioning System и метода kriging. Гипотеза исследования – применение Global Positioning System и метода интерполяции kriging позволит оценить с минимальной ошибкой потенциальную радоноопасность территории.

**Р**адон – радиоактивный газ, который непрерывно излучается из земной коры. Для оценки радоноопасности территории часто используют методы непосредственной оценки, однако они имеют недостатки, такие как низкая точность измерений и времязатратность. Применение математических методов и статистического анализа изменчивости позволяет улучшить процесс оценки радоноопасности территории. Существуют две основные группы методов интерполяции: детерминированные и геостатистические. В данной статье рассматриваются в основном геостатистические методы, так как они более точно могут учитывать пространственную автокорреляцию [1].

Цель работы – разработать геоинформационную систему с применением Global Positioning System и метода интерполяции kriging потенциальной радоноопасности территории Санкт-Петербурга.

Задачи, которые необходимо выполнить для достижения поставленной цели:

- проанализировать детерминированный и гемостатические методы интерполяции, обосновать достоинство и недостатки применения метода kriging для оценки потенциальной радоноопасности территории;

- провести полевой эксперимент и оценить объемную активность радона на территории Санкт-Петербурга;
- рассчитать среднегодовую эквивалентную равновесную объемную активность дочерних продуктов радона и торона в воздухе;
- на основе полученных данных разработать геоинформационную систему с применением Global Positioning System и метода интерполяции kriging для определения потенциальной радоноопасности на территории Санкт-Петербурга;
- обсудить полученные результаты и сделать выводы.

## ОБЪЕКТ И ПРЕДМЕТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объект исследования – жилые здания на территории Санкт-Петербурга. Предмет исследования – процесс оценки радоноопасности территории с применением математического моделирования.

## МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для исследования данного вопроса были использованы теоретические методы, такие как анализ литературных источников, описание, сравнение, синтез, дедукция, моделирование, а также эмпирические методы исследования – наблюдение, измерение.

Интерполяция – это метод численного анализа, который позволяет найти значения между известными точками. Основная цель методов интерполяции заключается в получении численных значений в произвольных точках с минимальной погрешностью на основе имеющихся

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, кафедра инноватики и интегрированных систем качества, аспирант, mgovor42@gmail.com.

данных. Существуют детерминированные и геостатистические методы интерполяции.

Детерминированные методы интерполяции предполагают наличие заданной аналитической зависимости между значениями функции в пространстве. К ним относятся метод обратных взвешенных расстояний, сплайн, тренд. Эти методы присваивают весовые параметры опорным точкам, и неизвестные значения вычисляются на основе этих весов [2].

Метод обратных взвешенных расстояний используется для оценки неизвестных значений путем усреднения известных параметров. Он придает больший вес близким к неизвестной точкам значениям. Однако этот метод не подходит для оценки радиационной опасности из-за своего предположения о плавных изменениях значений.

Сплайн строит поверхность, проходящую через опорные точки с минимальной кривизной. Он также не подходит для оценки радиационной опасности из-за построения значений по тренду в отдаленных точках.

Тренд используется для определения общих тенденций поверхностей и определяется математическими функциями. Он не применим для оценки радиационной опасности, но может быть использован для оценки вариограммы в методе kriging.

Детерминированные методы имеют недостатки при оценке радиационной опасности из-за игнорирования внутренней пространственной корреляции и необходимости пользовательских параметров.

На рис. 1 представлены графики для детерминированных методов интерполяции.

Геостатистический метод интерполяции позволяет описать процесс путем прогнозирования численных значений исходя из имеющихся фактических данных. Группа методов, основанных на геостатистике, может быть использована вместо машинного обучения для создания прогностических систем. Эти методы основаны на статистическом анализе набора опорных точек и их пространственной изменчивости, позволяя определить оптимальные параметры модели для прогнозирования [3].

Один из таких методов – метод kriging, отличается тем, что учитывает статистические зависимости между опорными точками и стремится минимизировать ошибку прогноза. При правильном определении параметров и построении вариограммы этот метод обеспечивает точные прогнозы явлений и процессов. Он также идеально подходит для оценки радиационной безопасности территории, обладая высокой точностью и возможностью построения трехмерных моделей.

На территории Санкт-Петербурга было проведено полевое исследование с применением Global Positioning System, в результате которого было получено 60 значений объемной активности радона и его дочерних продуктов,



Рис. 1. Графики для детерминированных методов интерполяции

с их пространственными координатами (60 точек измерений ОА радона и для каждой из точек были установлены координаты – широта и долгота). Исследование проводилось при помощи радиометра РАА-3-01 АльфаАЭРО и радиометра РАА-20П2.

Для построения модели необходимо на основе полученных данных рассчитать среднегодовую эквивалентную равновесную объемную активность дочерних продуктов радона и торона в воздухе жилых зданий по формуле (1).

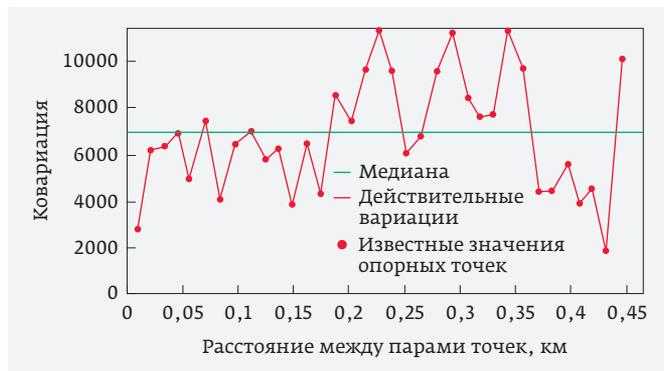


Рис. 2. Эмпирическая вариограмма, созданная в программе Golden Software Surfer

$$\text{ЭРОА} = \text{ЭРОА}_{\text{Ra}} + 4,6 \cdot \text{ЭРОА}_{\text{Tn}}, \quad (1)$$

где ЭРОА – среднегодовая эквивалентная равновесная объемная активность дочерних продуктов радона и торона в воздухе в Бк/м<sup>3</sup>;

ЭРОА<sub>Ra</sub> – эквивалентная равновесная объемная активность радона в Бк/м<sup>3</sup>;

ЭРОА<sub>Tn</sub> – эквивалентная равновесная объемная активность торона в Бк/м<sup>3</sup> [4].

Для построения геоинформационной модели с применением метода kriging было использовано программное обеспечение Golden Software Surfer. Обычная описательная статистика и гистограммы не учитывают пространственное расположение данных при своих определяющих вычислениях. На основе данных, полученных в полевых исследованиях, была разработана вариограмма.

Вариограмма предназначена для нахождения локальной окрестности наблюдаемой точки и определения

весов наблюдаемых точек, используемых при интерполяции функции в узле сети. Каждая пара местоположений имеет уникальное расстояние и часто наблюдается существование многих пар точек. Расположение всех пар быстро становится неуправляемым. Вместо размещения каждой пары, они группируются в lag bins. Эмпирическая вариограмма – это диаграмма средних значений вариограммы на оси y и расстояние (или лаг) на оси x. На рис. 2 представлена эмпирическая вариограмма, созданная в программе Golden Software Surfer.

На вариограммах также представлена медиана, ее значение рассчитано Golden Software Surfer и составляет 136 Бк/м<sup>3</sup> координаты медианы (59.9367629492, 30.3388723559).

При создании вариограммы были использованы модель для обработки данных линейная (Linear) и масштаб (Scale), равный единице. На рис. 3 модель вариограммы, созданная в программе Golden Software Surfer.

По результатам расчетов были построены геоинформационная система потенциальной радоноопасности

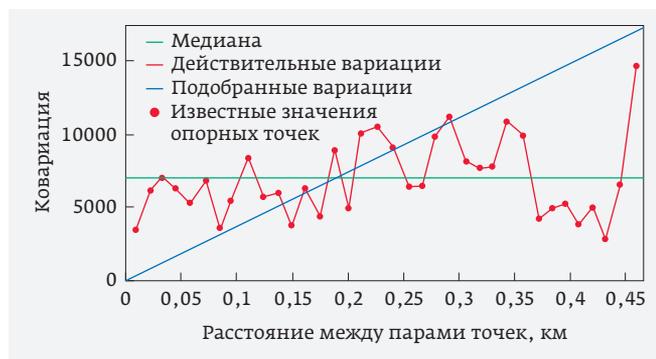
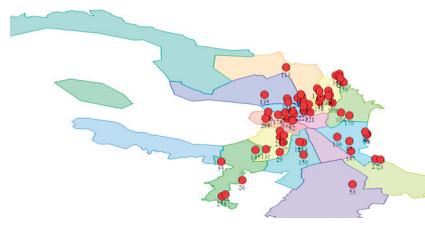
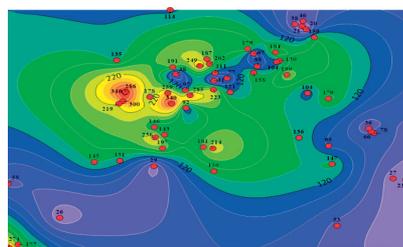


Рис. 3. Модель вариограммы, созданная в программе Golden Software Surfer

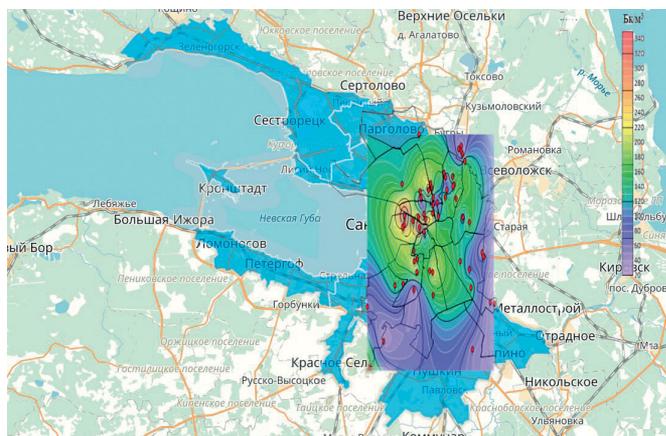


а) ● Среднегодовая эквивалентная равновесная объемная активность радона в воздухе жилых помещений, Бк/м<sup>3</sup>

Рис. 4. а – геоинформационная система потенциальной радоноопасности с применением метода kriging; б – геоинформационная система потенциальной радоноопасности в Санкт-Петербурге, созданная в программе Golden Software Surfer

с применением метода kriging и геоинформационная система применения Global Positioning System с обозначением 60 значений объемной активности радона и его дочерних продуктов с пространственными координатами (широта, долгота). Здесь 60 точек рассчитаны на средней ЭРОА на основе данных ОА радона. Данные модели представлены на рис. 4.

После совмещения геоинформационная система потенциальной радоноопасности с применением метода kriging и геоинформационная система применения Global Positioning System, с обозначением 60 значений



**Рис. 5.** Геоинформационная система потенциальной радоноопасности в Санкт-Петербурге

объемной активности радона и его дочерних продуктов, с их пространственными координатами (широта, долгота) создали одну полноценную геоинформационную систему потенциальной радоноопасности в Санкт-Петербурге. Геоинформационная система, созданная в программе Golden Software Surfer, представлена на рис. 5.

В процессе построения геоинформационной системы с помощью метода kriging учитываются свойства пространственной корреляции объекта, что делает результат интерполяции научным и приближенным к реальной ситуации [5].

\*\*\*

Подводя итог, можно сделать вывод о том, что метод kriging является оптимальным для создания геоинформационных систем по потенциальной радоноопасности территории. Важно отметить, что в Российской Федерации до сих пор отсутствует официальная геоинформационная система, отражающая уровень объемной активности радона. Существующие системы разрабатываются исключительно в рамках научных исследований для

оценки радоноопасности определенных территорий, но из-за ограниченных ресурсов они не могут считаться полностью объективными и точными.

Отсутствие платформы для внедрения геоинформационной системы по радону также становится препятствием для ее реализации на данный момент. Таким образом, необходимы дальнейшие исследования в этой области, чтобы создать эффективную и надежную систему оценки радоноопасности территорий.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Герасимова М.М.** Математические методы и модели в расчетах на ЭВМ: курс лекций. Красноярск: СибГТУ, 2009. 129 с.
2. **Герасимова М. М.** Математическое моделирование: курс лекций для студентов магистратуры, обучающихся по направлениям подготовки 35.04.02: «Технология лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств», магистерская программа «Технология и оборудование лесопромышленных производств», очной, заочной форм обучения; 15.04.02: «Технологические машины и оборудование», магистерская программа «Проектирование машин и оборудования лесного комплекса», очной формы обучения. Красноярск: СибГУ им. академика М. Ф. Решетнёва, 2019. 92 с.
3. Основы геоинформационного картографирования – учебное пособие / И. К. Лурье; Московский гос. университет им. М. В. Ломоносова. Географический факультет.
4. МУ 2.6.1.037-2015. Определение среднегодовых значений ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений [Электронный ресурс] – URL: <http://docs.cntd.ru/document/456050363> (дата обращения: 12.02.2023).
5. **Туманов А.Ю., Калашникова М.В.** Повышение качества геоинформационной системы радоноопасности на территории г. Санкт-Петербург с применением метода интерполяции кригинга // Наука и бизнес: пути развития. 2023. № 8(146). С. 36–39. EDN DGVSHR.

**АППАРАТУРА  
СИСТЕМ СВЯЗИ**

**ВАШ НАДЕЖНЫЙ ПОСТАВЩИК  
ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ**

125363, г. Москва, ул.  
Штурвальная, д. 3, стр. 1  
+7(495)925-50-12  
INFO@ESCLTD.RU



[www.escltd.ru](http://www.escltd.ru)

- ЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПОНЕНТЫ
- ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ
- КАБЕЛЬНАЯ ПРОДУКЦИЯ
- ГЕНЕРАТОРЫ СИГНАЛОВ
- АНАЛИЗАТОРЫ СПЕКТРА
- ВЫСОКОВОЛЬТНЫЕ ВАКУУМНЫЕ РЕЛЕ
- ВЫСОКОВОЛЬТНЫЕ ВАКУУМНЫЕ КОНТАКТОРЫ