

Общество с ограниченной ответственностью
«КИБЕРГЕО»

УТВЕРЖДАЮ:
Генеральный директор
ООО «КИБЕРГЕО»


Свинтицкий И. Л.
«16» июля 2025 года



Дополнительная профессиональная программа
программа повышения квалификации
«МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ГЕОЛОГИИ»

Объем 16 академических часов

г. Москва, 2025

Раздел 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОГРАММЫ

1.1. Нормативно-правовые основы разработки и реализации программы

- Дополнительная профессиональная программа повышения квалификации «Математические методы в геологии» разработана в соответствии со следующими нормативными документами:
- Федеральный закон от 29 декабря 2012 г. N 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации».
- Трудовой кодекс Российской Федерации.
- Приказ Министерства образования и науки Российской Федерации (Минобрнауки России) от 1 июля 2013 г. N 499 г. Москва «Об утверждении Порядка организации и осуществления образовательной деятельности по дополнительным профессиональным программам».

1.2. Цель реализации программы

Цель программы: программа направлена на формирование комплекса знаний в области

1.3. Планируемые результаты обучения

В результате освоения программы обучающийся:

Должен знать:

- специфику геологических объектов как объектов моделирования, включая масштабные эффекты, неоднородность и скрытость наблюдаемых параметров;
- основы одномерных, двумерных и многомерных статистических моделей, включая теорию распределений, оценку параметров, проверку гипотез, методы корреляционного и регрессионного анализа;
- принципы моделирования пространственных переменных: тренд-анализ, методы интерполяции (обратные расстояния, сплайны, полиномы), горно-геометрические и блочные модели, построение изолиний и использование вариограмм;
- основы геостатистики и методы оценки запасов: теория Криге, модели случайных функций, учет пространственной корреляции и оценка категорий запасов с учетом неопределенности;
- фрактальные подходы к оценке морфологии объектов, ошибок геометризации, потерь и разубоживания, закономерностей распределения масштабов и содержания рудных тел.

Должен уметь:

- применять математические модели для описания и анализа геологических данных;
- выбирать и обосновывать статистические методы обработки в зависимости от задач (поиск, разведка, оценка запасов);
- проводить интерполяцию и построение трендов по результатам опробования;
- использовать корреляционный анализ для выявления связей между признаками;
- строить блочные модели месторождений, определять геологические домены, учитывать условия отбора проб;
- анализировать фрактальные свойства геологических объектов для прогноза и оценки неопределенности.

1.4. Категория слушателей

К освоению программы допускаются лица, имеющие высшее образование.

1.5. Формы обучения и сроки освоения

Формы обучения: заочная, с использованием методов электронного обучения и дистанционных образовательных технологий.

Сроки освоения: нормативный срок освоения программы – 14 академических часов, режим занятий, 4 часа в день, включая теоретические и практические занятия. Продолжительность учебного часа составляет 45 минут.

Освоение дополнительной профессиональной программы завершается итоговой аттестацией – зачет.

По итогам освоения дополнительной профессиональной программы выдается удостоверение о повышении квалификации установленного образца.

Раздел 2. УЧЕБНЫЙ ПЛАН

№ п/п	Название разделов (модулей) и тем	Всего часов	Виды учебных занятий, учебных работ		Форма контроля
			Теоретическое обучение	Практические занятия	
1.	Условия применения математических методов в геологии	1	1		
2.	Одномерные статистические модели	2	2		
3.	Двумерные статистические модели	1	1		
4.	Многомерные статистические модели	1	1		
5.	Моделирование пространственных переменных	1	1		
6.	Моделирование геологических объектов с помощью случайных функций	1	1		
7.	Геостатистические методы оценки месторождений твердых полезных ископаемых	2	2		
8.	Фрактальная геометрия при решении задач разведки и оценки месторождений твёрдых полезных ископаемых	1	1		
9.	Самостоятельное изучение материалов с практическими примерами	3		4	
10.	Итоговая аттестация	1		2	Зачет (Тест)
	ИТОГО:	14	10	6	

<*> Разделы могут разбиваться, перегруппировываться и дополняться с учетом направлений
деятельности слушателей, проходящих обучение.

<**> Общее количество часов может быть изменено по согласованию с заказчиком.

Раздел 3. РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

Содержание рабочей программы

Урок 1. Условия применения математических методов в геологии

Специфика геологических объектов и необходимость математизации геологии. Структурный подход к описанию геологических объектов. Масштабные эффекты и неоднородность свойств геологических тел. Выбор информативных признаков и проблема уникальности объектов. Проблема скрытости объектов и выборочных наблюдений. Типы геологической информации: словесная, графическая, числовая. Типы шкал измерения признаков (номинальная, порядковая, интервальная, относительная). Моделирование как метод познания в геологии: предметные, геометрические, динамические, функциональные, знаковые и математические модели. Классификация математических моделей в геологии. Этапы построения математической модели.

Урок 2. Одномерные статистические модели

Понятие и задачи математической статистики. Требования к статистическим данным. Случайные величины: дискретные и непрерывные. Функции распределения: интегральная и плотность вероятности. Основные характеристики распределений. Теоретические законы распределения. Преобразования случайных величин. Проверка согласия эмпирического и теоретического распределений. Статистические оценки. Проверка статистических гипотез.

Урок 3. Одномерные статистические модели (продолжение)

Проверка гипотез об однородности объекта. Выявление аномалий и «ураганов» в выборках. Использование персентиль-функции для выделения выдающихся значений. Пространственная неоднородность данных и концепция доменов. Выделение популяций в распределении признаков (на примере объемной массы). Методы статистического анализа: критерий Смирнова, критерий Фергюсона. Влияние объема выборки на устойчивость средних значений. Расчет доверительных интервалов и необходимого числа наблюдений. Применение биномиального и распределения Пуассона в геологических задачах. Ошибки при определении содержания золота из-за малой навески и крупности зерен. Анализ и выбор рациональной массы пробы при опробовании алмазов.

Урок 4. Двумерные статистические модели

Понятие двумерной статистической модели. Корреляционное поле точек и визуализация взаимосвязей. Типы геологических задач, решаемых с использованием двумерного анализа. Основные характеристики двумерного распределения. Интерпретация коэффициента корреляции и проверка его значимости. Ранговый коэффициент корреляции и его применение. Линейные и нелинейные зависимости, корреляционное отношение. Примеры геологических интерпретаций по линиям регрессии. Использование регрессионного анализа для прогноза свойств по сопряженным признакам. Преобразования данных для улучшения модели. Оценка качества модели и доверительные интервалы.

Урок 5. Многомерные статистические модели

Понятие многомерной случайной величины и матрицы признаков. Ковариационная и корреляционная матрицы. Визуализация связей между признаками. Типовые задачи многомерного анализа в геологии. Регрессионный анализ. Метод главных компонентов

(PCA). Факторный анализ. Дискриминантный анализ. Нелинейный дискриминантный анализ.

Урок 6. Моделирование пространственных переменных

Понятие пространственных переменных в геологии. Цели и задачи моделирования пространственных признаков. Типы признаков: непрерывные и дискретные. Классификация моделей пространственных переменных: детерминированные модели, вероятностные модели. Методы интерполяции в детерминированных моделях: метод ближайшего соседа, линейная интерполяция, полиномиальные функции, сплайн-модели, метод обратных расстояний. Горно-геометрические модели и условия их применимости. Модели тренда и разделение на закономерную и случайную составляющие. Сглаживание с помощью статистического окна. Методы проверки наличия тренда: метод смены знака, метод скачков по медиане. Построение карт распределения признаков и изолиний. Применение моделей к геохимическим и геофизическим данным. Моделирование дискретных пространственных переменных. Применение карт остатков для выявления локальных аномалий. Практическое значение моделирования: прогноз, анализ источников сноса, выделение зон аномалий.

Урок 7. Моделирование геологических объектов с помощью случайных функций

Понятие случайной функции в геологии: определение, примеры геологических данных как случайных функций (гамма-каротаж, осадки и др.). Основные характеристики случайных функций. Интерпретация и взаимосвязь характеристик: связь между структурной и корреляционной функциями, радиус (предел) корреляции, особенности поведения функций при разных расстояниях между точками. Стационарность и эргодичность случайных функций. Анизотропия геологических свойств. Двумерные автокорреляционные функции. Периодичность и гармонический анализ. Практическое применение модели случайных функций в геологии.

Урок 8. Геостатистические методы оценки месторождений твердых полезных ископаемых

Определение и задачи геостатистики. История развития геостатистики. Основные понятия геостатистики: вариограмма и её характеристики, условия стационарности. Типы вариограмм и их модели. Блочное моделирование: принципы построения блочной модели, влияние размера ячеек и поискового эллипсоида, интерполяция.

Урок 9. Фрактальная геометрия при решении задач разведки и оценки месторождений твёрдых полезных ископаемых

Понятие фрактальной геометрии и её свойства. Применение фракталов в геологии. Методика определения фрактальной размерности. Связь фрактальной размерности с морфологическим типом рудных тел. Фракталы и ошибка геометризации. Оценка потерь и разубоживания с учётом сложности контуров. Применение фрактальной геометрии к геохимическим аномалиям. Закон Ципфа в геолразведке. Зависимость между содержанием, запасами и бортовыми кондициями. Фрактальный анализ алмазоносных объектов. Обобщение и дополнительные примеры.

Раздел 4. КАЛЕНДАРНЫЙ УЧЕБНЫЙ ГРАФИК
дополнительной профессиональной программы повышения квалификации
«Математические методы в геологии»

Учебные занятия организованы в течение всего календарного года, как правило, с учетом выходных и праздничных нерабочих дней в режиме 5-дневной учебной недели. Учебным годом считается календарный год с 1 января по 31 декабря. По согласованию с заказчиком образовательных услуг допускается проведение занятий в выходные и праздничные дни, а также изменение ежедневной учебной нагрузки.

- образовательный процесс осуществляется в течение всего календарного года, по мере набора групп;
- режим занятий: 5 дней в неделю;
- количество учебных часов в день: 4 часа;
- количество учебных недель: 2 недели;
- для всех видов аудиторных занятий академический час устанавливается продолжительностью 45 минут;
- форма обучения: заочная.

Учебные недели отсчитываются с момента зачисления на обучение по образовательной Программе.

Раздел 5. ФОРМЫ АТТЕСТАЦИИ

Итоговая аттестация – зачет. Итоговая аттестация обучающихся, завершающих обучение по Программе, является обязательной и осуществляется после успешного освоения всех тем образовательной Программы в полном объеме.

Цель итоговой аттестации – установление уровня подготовки выпускника программы к выполнению профессиональных задач.

Итоговая аттестация включается во время изучения образовательной программы и проводится в форме тестирования.

По результатам итоговой аттестации выставляются отметки по двухбалльной системе.

Дифференцированная оценка выставляется в соответствии со следующими критериями:

Интервал	Оценка
21 и менее правильных ответа	Не зачтено
22 и более правильных ответа	Зачтено

Перечень вопросов к итоговому тесту:

1. Какое основное ограничение накладывает специфика геологических объектов на применение математических методов?

- A) Необходимость изучения исключительно в лабораторных условиях
- B) Неоднозначность и скрытость объектов от прямого наблюдения
- C) Высокая стоимость математических моделей
- D) Отсутствие числовых данных

2. Что такое тренд-анализ в контексте геологических моделей?

- A) Изучение случайных флюктуаций значений признаков
- B) Определение зависимости между несколькими химическими элементами
- C) Анализ направленных изменений признака в пространстве
- D) Моделирование взаимодействия породы с реагентами

3. Какая шкала измерений используется для кодирования категориальных признаков, например, типов пород?

- A) Относительная
- B) Интервальная
- C) Номинальная
- D) Порядковая

4. Что из перечисленного является необходимым условием для применения одномерных статистических моделей?

- A) Наличие нормального распределения
- B) Независимость замеров и возможность многократного повторения
- C) Знание стандартного отклонения
- D) Отсутствие выбросов в данных

5. Какой закон распределения чаще всего используется для описания дискретных событий с малой вероятностью появления (например, находки редких минералов)?

- A) Нормальный

- В) Логнормальный
- С) Биномиальный
- Д) Пуассоновский

6. Что отражает коэффициент вариации?

- А) Среднюю ошибку измерений
- В) Плотность вероятности
- С) Относительную степень изменчивости признака
- Д) Симметричность распределения

7. Для чего используются операции центрирования и нормирования исходных данных?

- А) Повышение точности расчетов;
- В) Получение распределений признаков для сопоставления;
- С) Оценка вида распределения;
- Д) Построение гистограмм.

8. В каких ситуациях используются непараметрические критерии сравнения?

- А) нормальное распределение признака;
- В) логнормальное распределение признака;
- С) вид распределения не установлен;
- Д) большой разброс исходных данных.

9. Что происходит с распределением средних значений при увеличении объема выборки, согласно центральной предельной теореме?

- А) Оно становится асимметричным
- Б) Оно стремится к логнормальному
- С) Оно остаётся без изменений
- Д) Оно приближается к нормальному

10. Что означает значение коэффициента корреляции $r=0$ между двумя случайными величинами?

- А) Существует сильная зависимость между величинами
- Б) Существует слабая зависимость между величинами
- С) Зависимость между величинами отсутствует
- Д) Одна величина вызывает изменение другой

11. В каких случаях для оценки силы связи используется корреляционное отношение?

- А) разные законы распределения коррелируемых признаков
- Б) наличие нелинейной корреляционной зависимости между признаками
- С) высокие коэффициенты вариации изучаемых признаков
- Д) нелинейные преобразования исходных значений признаков

12. Зачем используется логарифмирование значений в корреляционном анализе?

- А) Чтобы перевести значения в безразмерную форму
- Б) Для устранения единиц измерения
- С) Для устранения ненормальности распределений и усиления линейной зависимости
- Д) Чтобы уменьшить объем выборки

13. Какая из следующих ситуаций может указывать на неоднородность выборки при анализе корреляционного поля точек?

- A) Все точки лежат вдоль одной прямой
- B) Все точки находятся в одной области графика
- C) Точки образуют несколько обособленных сгущений на графике
- D) Коэффициент корреляции близок к единице

14. Что отображает ковариационная матрица в многомерном статистическом анализе?

- A) Взаимосвязь между признаками через совместную изменчивость
- B) Средние значения признаков
- C) Распределение частот по интервалам значений
- D) Расстояния между точками в пространстве признаков

15. Для какой задачи наилучшим образом подходит регрессионный анализ?

- A) Сокращение количества переменных
- B) Группировка объектов по сходству
- C) Прогноз значения одного признака по другим
- D) Разделение объектов на классы

16. Какой геостатистический показатель позволяет оценивать анизотропию объекта?

- A) Уровень дисперсии признака по направлениям
- B) Величина эффекта самородков по направлениям
- C) Углы наклона вариограмм по направлениям
- D) Размер зоны влияния по направлениям

17. Что характеризует главные компоненты в методе главных компонентов (PCA)?

- A) Плотность распределения
- B) Направления максимальной дисперсии данных
- C) Средние значения по группам
- D) Минимальные расстояния между объектами

18. Что отличает вероятностные модели пространственных переменных от детерминированных?

- A) Они предполагают использование только линейных функций
- B) Они учитывают случайную составляющую в значениях признаков
- C) Они строятся исключительно на основе геофизических данных
- D) Они не требуют данных наблюдений в пространстве

19. Какой из методов интерполяции использует только значения ближайших точек наблюдения и задаёт одинаковое значение признака в пределах определённой области?

- A) Метод сплайнов
- B) Метод обратных расстояний
- C) Метод ближайшего соседа
- D) Полиномиальная интерполяция

20. Для чего используется сглаживание с помощью статистического окна при построении моделей тренда?

- A) Для выявления закономерной составляющей в изменении признака
- B) Для удаления всех случайных колебаний признака
- C) Для улучшения визуализации данных на графике
- D) Для увеличения количества данных наблюдения

21. Что показывает корреляционная функция случайной геологической величины?

- A) Среднее значение признака
- B) Вероятность наличия руды
- C) Зависимость между значениями признака на разных расстояниях
- D) Максимальное значение дисперсии

22. Какая из следующих характеристик необходима для оценки случайной функции при наличии только одной реализации?

- A) Нормальность распределения
- B) Тренд анализ
- C) Стационарность и эргодичность
- D) Глубина скважины

23. С какой целью выполняется подбор модельных функций вариограмм?

- A) Расчет коэффициентов для интерполяции данных
- B) Определение величины эффекта самородков
- C) Нахождение порогового значения вариограмм
- D) Определение размера зоны влияния

24. Что является основной функцией, характеризующей пространственную изменчивость геологических признаков в геостатистике?

- A) Корреляционная матрица
- B) Вариограмма
- C) Медиана распределения
- D) Диаграмма рассеяния

25. Какой метод интерполяции в геостатистике считается наиболее теоретически обоснованным?

- A) Метод ближайшего соседа
- B) Метод обратных расстояний
- C) Кригинг
- D) Линейная интерполяция

26. Что такое эффект самородков (nugget effect) во вариограмме?

- A) Участок, где вариограмма выходит на плато
- B) Начальный скачок вариограммы, отражающий мелкомасштабную изменчивость
- C) Ошибка измерения, возникающая при неправильной пробоподготовке
- D) Максимальное значение вариограммы

27. Какой основной количественный параметр характеризует фрактальный объект?

- A) Коэффициент вариации

- B) Средняя мощность тела
- C) Фрактальная размерность (размерность Хаусдорфа)
- D) Угол наклона буровых скважин

28. Какой из приемов используется для определения фрактальной размерности формы объекта?

- A) Определение длины периметра объекта при разной плотности сети наблюдений
- B) Определение средних размеров объекта в зависимости от шага сети наблюдений
- C) Анализ зависимости между размером ячеек, и их числом по контуру объекта
- D) Расчет площади объекта, оконтуренного при разной плотности сети наблюдений

29. Для чего используется фрактальная размерность при разведке месторождений?

- A) Для расчёта плотности скважин
- B) Для оценки ошибок геометризации, потерь и разубоживания
- C) Только для визуализации данных
- D) Исключительно в геофизике

Раздел 6. ОРГАНИЗАЦИОННО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГРАММЫ

Учебно-методическое и информационное обеспечение программы

Основная литература

1. Карлье Э. Методика количественной оценки месторождений урана. – М.: Атомиздат, 1966.
2. Криге Д.Г. Роль математической статистики в методах уточнения оценки промышленного оруденения на рудниках Южной Африки // Вопросы математической геологии. – Л.: Наука, 1966.
3. Матерон Ж. Основы прикладной геостатистики. – М.: Мир, 1968.
4. Каждан А.Б., Гуськов О.И., Шиманский А.А. Математическое моделирование в геологии и разведке полезных ископаемых. – М.: Недра, 1979.
5. Давид М. Геостатистические методы при оценке запасов руд. – М.: Недра, 1984.
6. Капутин Ю.Е., Ежов А.И. Геостатистика в горно-геологической практике. – Апатиты: КНЦ РАН, 1995.
7. Капутин Ю.Е. Горные компьютерные технологии и геостатистика. – СПб.: Недра, 2002.
8. Кумбс Джеки. Искусство и наука оценки запасов: Практическое руководство для геологов и горных инженеров. – [Австралия, г.Перт], [б. и.], [2008].
9. Рекомендации к составу и правилам оформления, представляемых на государственную экспертизу материалов по технико-экономическому обоснованию кондиций и подсчету запасов твердых полезных ископаемых с использованием блочного моделирования на месторождениях различного морфологического типа. – М.: ГКЗ, 2015. – 76 с.
10. Мандельброт Б. Б. Фрактальная геометрия природы. М., Институт компьютерных технологий. 2002. 656с.
11. Горяинов П.М., Иванюк Г.Ю. Самоорганизация минеральных систем. М., ГЕОС, 2001. 311с.
12. Иудин Д.И., Колосов Е.В. Фракталы: от простого к сложному. Н. Новгород, ННГАСУ, 2012. 200с.
13. Крамбейн У., Грейбилл Ф. Статистические модели в геологии. М., «МИР», 1969, 397с.
14. Abzalov M. Applied Mining Geology. – Switzerland: Springer International Publishing, 2016, 448p
15. Armstrong M. Основы линейной геостатистики. – 1998.

Интернет-ресурсы

Электронная информационно-образовательная среда <https://geowebinar.com/>
Данная среда способствует освоению обучающимися программ в полном объеме независимо от места нахождения обучающихся.

Электронная информационно-образовательная среда обеспечивает возможность осуществлять следующие виды деятельности:

2. Планирование образовательного процесса.
3. Размещение и сохранение материалов образовательного процесса.
4. Фиксацию хода образовательного процесса и результатов освоения программы.
5. Контролируемый доступ участников образовательного процесса к информационным и образовательным ресурсам в сети Интернет.
6. Проведение мониторинга успеваемости обучающихся.

Содержание учебных дисциплин (модулей) и учебно-методических материалов представлено в учебно-методических ресурсах, размещенных в электронной информационно-образовательной среде Образовательной организации. Учебно-методическая литература представлена в виде электронных информационных и образовательных ресурсов в системе дистанционного обучения.

Материально-техническое обеспечение дисциплины

Образовательная организация располагает необходимой материально-технической базой и обеспечивает проведение всех видов подготовки слушателей, предусмотренных учебным планом реализуемой программы:

Оборудование:

- Сервер DELL PowerEdge T40;
- Ноутбук со встроенной камерой, динамиками, микрофоном;
- Многофункциональное устройство лазерное Canon i-Sensys MF3010 bundle;

Программное обеспечение:

- Windows 10,
- MS office,
- Google Chrome,
- Антивирус Kaspersky Internet Security,
- PDF Adobe.

Обучение проводится с применением дистанционных образовательных технологий.

Каждый обучающийся в течение всего периода обучения обеспечивается индивидуальным неограниченным доступом к электронной информационной образовательной среде, содержащей необходимые электронные образовательные ресурсы, перечисленные в модулях программы.

Идентификация пользователя происходит по заранее сгенерированной паре логин/пароль.

Система позволяет осуществлять контроль посещения слушателем личного кабинета и предоставленных модулей. Итоговый контроль осуществляется в форме итогового тестирования.

Требования к материально-техническим условиям со стороны обучающегося (потребителя образовательной услуги)

Рекомендуемая конфигурация компьютера:

- Разрешение экрана от 1280x1024.
- Pentium 4 или более новый процессор с поддержкой SSE2.
- 512 Мб оперативной памяти.
- 200 Мб свободного дискового пространства.
- Современный веб-браузер актуальной версии (Firefox 22, Google Chrome 27, Opera 15, Safari 5, Internet Explorer 8 или более новый).

Требования к квалификации преподавателя дополнительного профессионального образования.

№ п/п	Наименование требований	Содержание требований
-------	-------------------------	-----------------------

1.	Требования к образованию и обучению	<p>Среднее профессиональное образование – программы подготовки специалистов среднего звена или высшее образование - бакалавриат, направленность (профиль) которого, как правило, соответствует преподаваемому учебному предмету, курсу, дисциплине (модулю).</p> <p>Дополнительное профессиональное образование на базе среднего профессионального образования (программ подготовки специалистов среднего звена) или высшего образования (бакалавриата) – профессиональная переподготовка, направленность (профиль) которой соответствует преподаваемому учебному предмету, курсу, дисциплине (модулю).</p> <p>При отсутствии педагогического образования - дополнительное профессиональное образование в области профессионального образования и (или) профессионального обучения; дополнительная профессиональная программа может быть освоена после трудоустройства.</p> <p>Педагогические работники обязаны проходить в установленном законодательством Российской Федерации порядке обучение и проверку знаний и навыков в области охраны труда, оказание первой помощи.</p> <p>Рекомендуется обучение по дополнительным профессиональным программам по профилю педагогической деятельности не реже одного раза в три года.</p>
2.	Особые условия допуска к работе	Отсутствие ограничений на занятие педагогической деятельностью, установленных законодательством Российской Федерации