

А. С. Кривогузова, Д. М. Васютенко

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ГЕОЛОГИИ

Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград, Россия

Поступила в редакцию 23.01.2022 г.

Принята к публикации 02.02.2022 г.

101

Для цитирования: *Кривогузова А.С., Васютенко Д.М.* Анализ применения математического моделирования в геологии // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Сер. Физико-математические и технические науки. 2022. №1. С. 101–107.

Проанализированы наиболее характерные ошибки в применении математико-статистических и модельных методов, периодически возникающие при изучении научных геологических журналов, и рассмотрены некоторые рекомендации по их устранению. Обсуждаются проблемы определения относительных погрешностей в упрощенных математических моделях. Показана необходимость расчета параметров фонового значения и исключения его влияния на вычисление «полезного сигнала». Для обсуждения и тестирования также предлагается графический метод определения минимального аномального содержания.

Ключевые слова: математические методы, исследовательская работа, геология, методы оценки, фоновое распределение, графический метод, корреляционный анализ

В настоящее время едва ли можно найти научного работника, который никогда не применял математические методы обработки данных в исследовательских работах. Очевидно, что каждый исследователь также посещал лекции по математическим методам и обладает элементарными (более или менее определенными, но иногда очень условными и приблизительными) знаниями о математико-статистических и более сложных методах, таких как корреляционный и факторный анализ, элементы теории ошибок и т. д.

Произведение оценки точности исходя из прогнозных геологических данных

Обычно оценки прогнозируемых параметров любого объекта или характеристик процесса основаны на применении нескольких первичных данных, которые могут быть отмечены своей конкретной ошибкой. К сожалению, авторы редко дают точные оценки прогнозных результатов, хотя это позволило бы сэкономить время для них самих и



для читателей, поскольку дальнейшее изучение данных может выявить, что ошибка в расчетах иногда значительно выше, чем это необходимо для получения результата реальной значимости [1, с. 122].

Когда мы имеем дело с повторными измерениями, оценка точности путем вычисления среднего значения и стандартного отклонения не является сложной задачей. Задача усложняется в случае единичных измерений (например, прогнозной оценки запасов на определенном месторождении полезных ископаемых).

В случае любых инструментальных измерений физических параметров абсолютная погрешность обычно определяется на основе значений деления шкалы. Однако применение такого метода в естественных науках (в частности, в геологии) не всегда возможно из-за специфики объектов. В этом случае абсолютная погрешность в первичных данных оценивается исследователем на основе опыта по аналогии с другими объектами или просто интуиции с заметной долей произвола.

В случае сложения или вычитания значений общая погрешность результата $a = b \pm c$ достигается путем добавления определенных абсолютных ошибок:

Прогностическая оценка объема рассчитывается как произведение этих первичных параметров. Пусть каждое из этих пяти значений имеет относительную погрешность 20 % для объекта, уже не существующего в природе (разрушенного). В этом случае можно судить о его параметрах только косвенно. Тогда минимальное значение относительной ошибки в оценке прогнозных ресурсов, которое рассчитывается методом, применимым для значений с небольшой первичной ошибкой (варианты формулы (4)), составляет 100 %; то есть предложенная модель не имеет смысла, поскольку запасы в месторождении считаются равными нулю при более низком пределе точности (именно этот предел обычно наиболее важен для прогнозных оценок в геологии) [2, с. 25].

Поскольку относительная погрешность может достигать десятков процентов для элементов геологических объектов и процессов, мы должны использовать полную формулу, разработанную для грубых первичных преобразований. В этом случае погрешность результата увеличивается по сравнению с методом, применяемым для точных первичных измерений (рис. 1).

Если проанализировать точность моделей в условиях приближенного равенства относительных погрешностей первичных параметров, в этом случае погрешность в конечном результате будет максимальной, что гарантирует достоверность оценки.

На этапе разведки и оценки иногда важно установить по крайней мере порядок содержания и/или запасы полезного содержания в рудном объекте. Поэтому относительная погрешность в результате до 50 % будет приемлемой. Для трехкомпонентной модели такая точность достигается, если погрешность первичных оценок находится на уровне 15 %; то есть трехкомпонентная модель прогнозных параметров месторождения с относительной погрешностью в первичных данных более 15 % является низкоинформативной. Тогда необходимая точность начальных параметров увеличивается для четырех и более компонентных моделей [3, с. 144].

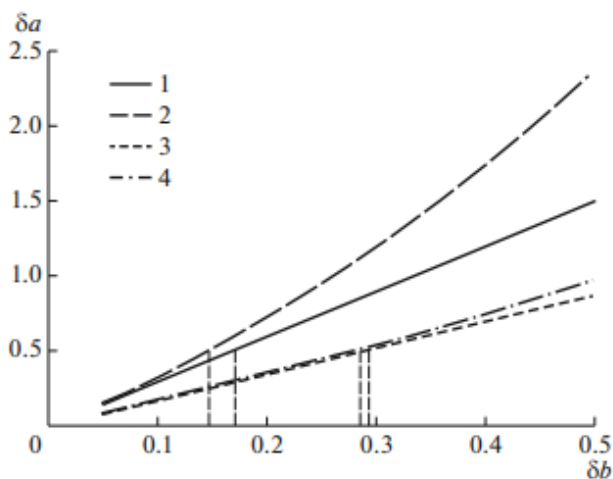


Рис. 1. Оценка относительной погрешности в модели (δa) на основе трех основных параметров при аналогичном значении их относительных погрешностей ($\delta b = \delta c = \delta d$):

- 1 – линейная погрешность для «точных» данных с небольшой относительной погрешностью первичных параметров; 2 – линейная ошибка для «грубых» данных, формула (6); 3 – квадратичная ошибка для «точных» данных;
- 4 – квадратичная ошибка для «грубых» данных

Существуют методы повышения точности модели. Например, если ошибки в первичных параметрах случайны и независимы друг от друга (то есть ошибки в первичных измерениях направлены по-разному и увеличение одних параметров может быть компенсировано уменьшением других), мы можем применить квадратичную оценку ошибки в конечном результате. В случае более сложных корреляций можно использовать пошаговый метод расчета относительной ошибки.

Таким образом, при разработке любой количественной прогностической модели должно быть обеспечено не только расчетное значение, но и точность данной модели, что позволит определить достоверность прогноза и продемонстрировать практическую значимость предлагаемой модели.

Необходимость оценки фонового значения. Методы оценки фонового значения

Обработка всей базы данных без разграничения фонового и аномального содержимого является еще одной распространенной ошибкой в применении статистических методов. Фоновое содержание определяет средний уровень насыщенности территории исследуемым компонентом (химическими элементами, минералами, геофизическими параметрами и др.). Они зависят от множества случайных факторов и

имеют нормальное (гауссовское) или логнормальное распределение, если значение параметра показывает нормальное распределение [4, с. 74].

Однако распределение содержимого в пределах фонового значения имеет случайный характер. В ходе анализа корреляции этих содержаний с выбранной дискретной плотностью выборки мы можем получить иллюзию некоторых тенденций, приводящих к неправильному представлению о характеристиках поля исследуемых параметров (рис. 2). Поскольку только результаты, превышающие пороговое значение аномальности, имеют информационное значение, определение локального фонового значения является обязательной процедурой при обработке данных.

104

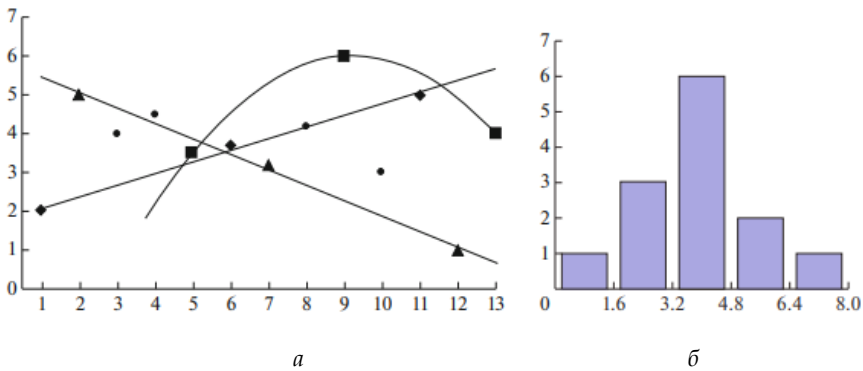


Рис. 2. Возникновение ошибочных тенденций структуры поля параметра в пределах фонового значения при применении различных вариантов плотности разряженной и дискретной выборки (пункты 1–6–11, 2–7–12, 5–9–13) (а); значение параметра имеет нормальное распределение со средним значением и стандартным отклонением, равным 3,8 и 1,3 соответственно (б)

Учитывая, что в выборке в однородном секторе отсутствует аномальное содержание, уровень фонового содержания соответствует вероятному среднему арифметическому значению. Пик этой кривой соответствует среднему значению выборки с симметричными позициями отклонений от среднего значения на этом графике.

В геологии методы оценки фонового значения хорошо разработаны в первую очередь для геохимических методов поиска месторождений полезных ископаемых.

Минимальное аномальное значение (C_a) связывает уровень фонового значения (C_b) со стандартным отклонением фонового значения (S_b) при нормальном распределении (рис. 3):

$$C_a = C_b + tS_b$$

или фоновое значение со стандартным множителем при логнормальном распределении.

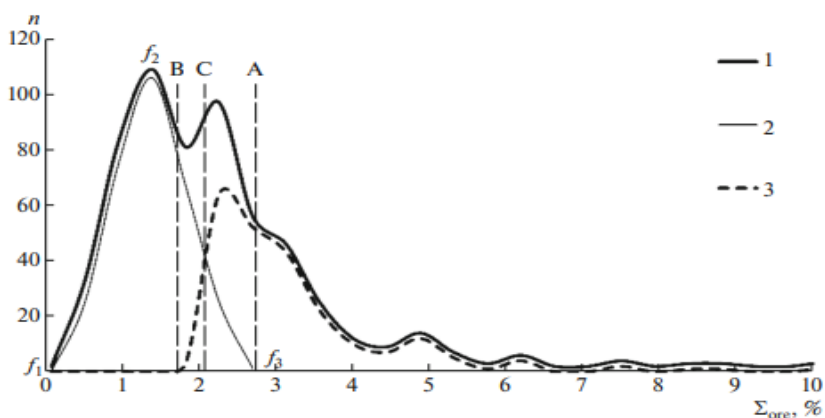


Рис. 3. Распределение частоты встречаемости (n) значений параметра «общие компоненты руды» (Σ руда) в секторе:

- 1 – общий график; 2 – распределение фона; 3 – аномальное распределение;
 A, B, C – версии с минимальным аномальным содержанием;
 f_1, f_2, f_3 – точки на графике распределения фонового контента

Вариант оценки Ca с заниженным t может спровоцировать выявление множества бесперспективных аномалий и дополнительные затраты на их изучение. Поэтому работник вынужден выбирать приоритеты, основываясь на своем личном опыте. Для расчета фоновых и пороговых значений аномальности на картах распределения параметров выбирается сектор без явных аномалий, которые могут быть выделены визуально или на основе анализа графика [5, с. 132].

Эти зоны должны быть согласованы с точки зрения ландшафта и геохимии, а также сходства химии горных пород. В этом случае необходимо проверить однородность образца и доказать, что образец содержит только фоновые значения. Выполнение этой процедуры, однако, не всегда возможно на практике. Обычно данные по крупным образцам, которые охватывают области более обширные, чем площадь отдельного месторождения или рудного тела, включают значение локального фона и некоторые аномалии. Проблема состоит в том, чтобы определить фоновую и пороговую аномальность (Ca) и выделить эти образцы. Оценка среднего содержания и стандартного отклонения в общей выборке дает более искаженную (завышенную) информацию о фоновом режиме и стандартном отклонении, поскольку она также включает аномальное содержание. Таким образом, мы получаем «бесконечный круг»: невозможно точно оценить фон без определения минимального аномального уровня, но определить значение Ca можно только после определения Cb и Sb [6, с. 236].

Некоторые из методов, предложенных для решения актуальных задач (графическая оценка пороговой аномалии), носят предварительный и дискуссионный характер.



Геология предоставляет множество тематических исследований для использования статистических, вероятностных и компьютерных моделей, охватывающих репрезентативную и параметрическую статистику, детерминированные процессы, случайное распределение и методы Монте-Карло. Для большинства из этих приложений компьютер стал необходимым для хранения и обработки данных, а также для быстро развивающейся и инновационной области компьютерного моделирования с использованием симуляций.

Список литературы

106

1. *Ананьев В.П., Потапов А.Д., Филькин Н.А.* Специальная инженерная геология : учебник. М., 2017.
2. *Ананьев В.П., Потапов А.Д.* Специальная инженерная геология. М., 2018.
3. *Басарыгин М.Ю.* Строительство и эксплуатация морских нефтяных и газовых скважин : в 4. т. Т. 4, кн. 3. М. ; Краснодар, 2017.
4. *Большов С. И.* Геоморфология с основами геологии : практикум. М., 2020.
5. *Ивченко Г.И., Медведев Ю.И.* Математическая статистика. М., 2019.
6. *Калинина В.Н.* Теория вероятностей и математическая статистика : учебник для академического бакалавриата. М., 2015.

Об авторах

Александра Сергеевна Кривогузова — магистрант, Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград, Россия.

E-mail: krivoguzova99@bk.ru

Денис Михайлович Васютенко — магистрант, Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград, Россия.

E-mail: igrook6000@mail.ru

A. S. Krivoguzova, D. M. Vasyutenko

ANALYSIS OF THE APPLICATION OF MATHEMATICAL MODELING IN GEOLOGY

Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia

Received 23 January 2022

Accepted 02 February 2022

To cite this article: Krivoguzova A.S., Vasyutenko D.M. 2022, Analysis of the application of mathematical modeling in geology, *Vestnik of Immanuel Kant Baltic Federal University. Series: Physical-mathematical and technical sciences*, №1. P. 101–107.

In this paper, the most characteristic errors in the application of mathematical-statistical and model methods that periodically occur during the review of scientific geological journals were analyzed, and recommendations for their elimination were given. The problems of determining relative errors in simplified mathematical models are discussed. The necessity of



calculating the parameters of the background value and excluding its influence on the calculation of the “useful signal” is shown. A graphical method for determining the minimum abnormal content is also proposed for discussion and testing.

Keywords: mathematical methods, research work, geology, estimation methods, background distribution, graphical method, correlation analysis

The authors

Alexandra S. Krivoguzova, Master’s Student, Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia.

E-mail: krivoguzova99@bk.ru

Denis M. Vasyutenko, Master’s Student, Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia.

E-mail: igrook6000@mail.ru