

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ**Гриб Н.Н., Терешенко М.В.***ФГАОУ ВПО «Технический институт (филиал) СВФУ им. М.К. Аммосова»,
Нерюнгри, e-mail: terexa@pochta.ru*

Настоящая статья посвящена обоснованию применения системного подхода в моделировании геологических процессов. Рассматриваются причины использования традиционных аналитических методов при изучении геосистем и необходимость перехода к алгебраическим методам исследования. Кратко описано влияние развития математического аппарата и вычислительной техники на исследования геологических систем. Приводится описание понятия цепи Маркова, его взаимосвязь с природными процессами и опыт применения марковской модели в геологии и геофизике. Рассмотрен вопрос проблематики и перспективы применения математического аппарата марковских процессов при изучении последовательности геолого-геофизических событий. Применение исследователем системного подхода позволяет выявить закономерности развития геологических систем, осуществлять синтез частичных представлений, отражающих отдельные стороны сложного геологического объекта, и на этой основе получить целостное представление об объекте.

Ключевые слова: математическое моделирование, геологическая система, марковская модель, детерминированные и стохастические модели

MODEL APPROACH TO THE GEOLOGICAL SYSTEMS**Grib N.N., Tereschenko M.V.***Technical Institute (branch) of North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov,
Nerungri, e-mail: terexa@pochta.ru*

This article is devoted to substantiation of the use of a systemic approach in geological processes modeling. The present study explores the reasons for the use of traditional analytical methods in the study of geosystems and the necessity of transition to algebraic methods. This paper briefly describes the impact of the body of mathematics development and computer engineering to geological systems research. Describes the concept of Markov chain, its relationship with natural processes and the experience of Markov model application in Geology and Geophysics. This article traces the discussion the issues and prospects of application of mathematical apparatus of Markov processes in the study of sequence of geological and geophysical events. Principally concludes the following: the systems approach for geological processes modeling allows to reveal regularities of geological systems development and to synthesize partial ideas that reflect distinct aspects of a complex geological object, and thereupon, this approach allows getting the general idea about the object.

Keywords: mathematical model approach, geological system, markov model, determinated and stochastic models

Система, по определению Большого Российского энциклопедического словаря, это «множество элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом, которые образуют определенную целостность, единство» [2]. Исходя из этого определения, практически все геолого-геофизические задачи являются системными. Фактически вся история развития геологии представляет собой последовательное совершенствование методов изучения сложных геологических систем. Основным методом их изучения был, да и в большей мере продолжает оставаться, аналитический метод. Основой его является выявление и вычленение из совокупности факторов, определяющих исследуемый геологический феномен, одного или группы факторов, являющихся основополагающими (системообразующими). Исследование выполняется при введении ограничений на изменения группы факторов (нормирование). Анализ проводится, как правило, для простых, шкалированных

показателей. Однако нормироваться могут и отдельные сложные (понятийные) факторы. Так, связи состав – свойства исследуются только для ненарушенных пород. Петрофизические разрезы отстраиваются для каждого литологического типа в отдельности [4]. То, что полученные связи сводятся на одном графике, сути подхода не изменяет. Существенным недостатком аналитического подхода является то, что исследуемый объект рассматривается независимо от его окружения.

Использование вычислительной техники позволило существенно усложнить исследуемые модели геологических систем. Методы регрессионного анализа позволили увеличить количество учитываемых шкалированных параметров [5, 10].

Байесовское распознавание допускает включение в модели сложных, понятийных факторов [1, 8]. Расширилось применение и других математических методов. В связи с этим определенное развитие получило

такое прикладное направление, как «формализация геологических данных» [10].

Таким образом, в геологической науке укоренились два представления системы объекта (процесса):

– аналитическое, предполагающее детальные исследования влияния на поведение системы каждого из совокупности факторов, принятых исследователем в качестве системообразующих;

– механистическое, рассматривающее систему как неструктурированный набор переменных, позволяющий с помощью формальных математических операций подбирать более или менее адекватную модель системы.

Если первое, традиционное, представление исторически сложилось в результате становления и развития геологии как науки, то второе, вызванное математизацией геологии и развитием вычислительной техники, во многом обязано воззрениям основателей науки – кибернетики. Так, У. Эшби [13] определяет систему как «не вещь, а перечень переменных»! Отмечая, что «каждый материальный объект содержит не менее, чем бесконечное число конечных систем...» он упускает из определения системы такой важный ее атрибут, как структуру. Необходимо разделить два понятия – система объекта и объект системы.

Системный подход открывает большие возможности для применения системного моделирования, в особенности кибернетического, в том числе моделирования природных процессов. Он позволяет выявить закономерности развития конкретных систем, осуществлять синтез частичных представлений, отражающих отдельные стороны сложного объекта, и на этой основе получить целостное представление об объекте.

Одним из наиболее эффективных способов представления систем и их поведения является метод математического моделирования.

В классической книге «История механики» (1955) ее автор R. Dugas [15] прослеживает развитие динамических систем от Аристотеля до Кеплера, Ньютона и затем до квантовой механики. Он показывает как в течение столетий развивалась теория обыкновенных дифференциальных уравнений и уравнений в частных производных, давшая возможность исследовать динамические системы, встречающиеся в природе. Успехи этого направления исследований в сочетании с успехами физики оказались столь велики, что почти полностью пропитали собой научное мышление. Невозможно переоценить ту пользу, которую принесло это основополагающее явление научной

культуры, в огромной мере способствовавшее установлению междисциплинарных связей. С другой стороны, современная наука включает в круг своих исследований все более усложненные динамические системы, не поддающиеся простому описанию с помощью обыкновенных дифференциальных уравнений и уравнений в частных производных. В качестве примера можно привести подрабатываемый массив горных пород, в котором в сложнейшем взаимодействии оказываются постоянно изменяющиеся вещество, энергия и структура, обусловленные как природными процессами (палео- и современными), так и техногенными факторами. Во всех случаях поведение системы зависит от сложного взаимодействия временных распределений различных дискретных событий. Состояние подобных динамических систем изменяется во времени не непрерывно, а дискретно. Подобные динамические системы называются динамическими системами с дискретными событиями (ДСДС) в отличие от более привычных динамических систем с непрерывной переменной (ДСНП), которые характерны для физического мира и описываются дифференциальными уравнениями. Для ДСДС траектория является кусочно-постоянной и формируется событиями. Последовательность отрезков постоянства отражает последовательность состояний системы, а длительность каждого отрезка отражает время пребывания в соответствующем состоянии. Состояния принимают значения из некоторого дискретного множества, а их продолжительность, вообще говоря, является непрерывной величиной.

В общем случае применяемые геоматематические модели можно свести к двум основным типам – детерминированным и стохастическим. Для детерминированных систем хорошо применимы модели, основанные на решении систем уравнений. Для стохастических используется аппарат математической статистики. Однако такая градация является идеализированной. Реально для геотехнических систем и отношений их элементов присутствие обеих моделей – детерминированной и стохастической – различается только их присутствие в пропорциях.

Для многофакторного динамического моделирования наиболее перспективным является применение математического аппарата Марковских процессов [3, 11, 12].

Для многих природных процессов, рассматриваемых как случайные, наблюдается влияние предшествующих событий на последующие. Эти процессы носят название Марковских по имени впервые описавшего

их в начале столетия математика Маркова [9]. Характерным для Марковских процессов является то, что вероятность находиться в данном состоянии в заданный момент времени можно вывести из сведений о непосредственно предшествующем состоянии. Частным случаем Марковского процесса является цепь Маркова – ее можно рассматривать как последовательность дискретных состояний во времени или пространстве, для которых вероятность перехода из одного состояния в заданное за последующий шаг зависит от предшествующего состояния.

Понятие цепи Маркова, таким образом, выделяет из совокупности всех возможных динамических систем (в том числе процесса осадконакопления) так называемые системы без последствия, или системы с отсутствием памяти. В детерминированном случае это те системы, для которых состояние в момент времени t однозначно определяется состоянием этой системы в момент времени $(t - 1)$ независимо от того, каким было изменение до этого момента. В отличие от детерминированных, стохастические системы (к которым относятся и геотехнические) без последствия обладают тем свойством, что по состоянию системы в момент времени $(t - 1)$ однозначно определяется не состояние системы в момент времени t , а лишь вероятность, с какой она в этот момент времени находится в данном состоянии.

При изучении последовательности геолого-геофизических событий можно рассматривать любые интервалы в качестве «прошлого» $(t - 1)$ и «настоящего» (t) и тем самым воспользоваться Марковским свойством для предсказания состояния системы на основе изменения состояний во времени (в разрезе) ее элементов. Аналогичный подход можно использовать для любых чередований событий, определённых на какой-либо шкале последовательностей.

В геологии Марковская модель (ММ) чередования породных тел внутри толщи осадочных пород была предложена в 1949 году А.Н. Колмогоровым [7] при решении задачи межслоевого размыва. Эта работа существенно опередила свое время и только в конце 60-х годов, когда стала усиленно развиваться математическая геология, вновь появился интерес к ММ [6]. Харбух исследует ММ чередования литотипов плоскостной среды, фациальных зон, строит ММ динамики роста соляных куполов, имитируя процесс диффузии [12]. Отличия ММ от моделей другого типа – Пуассона, Робинсона – заключаются в сближении детерминистского и случайного подходов к сигналу, а также в явном посту-

лируемой дискретности изучаемых объектов. Поэтому активное и целенаправленное использование ММ в геологии и геофизике сдерживается необходимостью перехода от традиционных аналитических методов исследования к алгебраическим, что не приводит в восторг исследователей. Так, предложенный Бургом [14] метод максимальной энтропии до сих пор используется лишь в рамках модели Робинсона, хотя имеет гораздо более общий характер и обосновывается с позиций ММ. Другая причина слабого внимания к ММ заключается в восприятии рядом исследователей дискретного описания разреза как неполного, несовершенного по сравнению с калейдоскопической детальностью результатов непрерывных процедур обработки. На самом же деле, по мнению ряда ученых, геологический разрез исходно разбит, разорван и физически и логически; видимая целостность его иллюзорна. Альтернатива дискретному подходу, предлагаемая философами, приводит к холизму, снижению роли машинной обработки. Тем не менее интегральные преобразования, олографические и интерференционные методы занимают сейчас главенствующее положение в практической сейсморазведке. Их использование позволяет существенно улучшить качество носителя информации – сейсмической импульса, имеющего волновую природу. Однако эти же методы, имея единственной целью улучшение свойств носителя информации, вместе с помехами уничтожают и геологическую информацию. Повышение разрешения сейсморазведки ими достигается лишь при огрублении геологической модели, что зачастую дает сомнительную выгоду. Структурно-формационная Марковская модель дает новый толчок развитию моделей сейсморазведки и методов геофизических исследований скважин, которые не менялись с 50-х годов. Несомненно сложнее дело обстоит в геологии. Если математическая геология, развитая Вистеллиусом [3], приняла Марковскую модель, хотя и со специфическим подходом, то классическая отечественная геология сдерживается применяемым определением формации, где в отличие от международного определения вещество и состав заслоняют структуру. Подобный материализм затрудняет последовательное изложение и развитие новых идей, связанных с рассмотрением геологического тела как единства его состава и структуры.

Работа выполнена при поддержке Грантом Главы Республики Саха (Якутия) для молодых ученых, специалистов и студентов, 2015.

Список литературы

References

1. Айвазян С.А., Бухштабер В.М., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика: классификация и снижение размерности. Справ. изд. / под ред. С.А. Айвазяна. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 607 с.
2. Большой Российский энциклопедический словарь. – М.: БРЭ – 2003. – 1437 с.
3. Вистеллиус А.Б. Основы математической геологии. – Л.: Наука, 1980. – 278 с.
4. Гречухин В.В. Изучение угленосных формаций геофизическими методами. – М.: Недра, 1980. – 360 с.
5. Гриб Н.Н., Самохин А.В. Физико-механические свойства углевмещающих пород Южно-Якутского бассейна. – Новосибирск: Наука. Сиб. Предприятие РАН, 1999. – 240 с.
6. Дэвис Дж.С. Статистический анализ данных в геологии. Т.1. В двух томах. – М.: Недра, 1990. – 368 с.
7. Колмогоров А.Н., Гнеденко Б.В. Предельные распределения для сумм независимых случайных величин. – М.-Л.: ГИТТЛ, 1949. – 264 с.
8. Королюк В.С., Портенко Н.И., Скороход А.В., Турбин А.Ф. Справочник по теории вероятностей и математической статистике. – М.: Наука, Гл. ред. физико-математической литературы, 1985. – 640 с.
9. Математический энциклопедический словарь. – М.: Сов. Энциклопедия, 1988. – 847 с.
10. Родионов Д.А., Коган Р.И., Голубева В.А. и др. Справочник по математическим методам в геологии. – М.: Недра, 1987. – 335 с.
11. Трофименко С.В., Гриб Н.Н. Элементы математических моделей в теории и практике случайных процессов // Международный журнал экспериментального образования. – 2013. № 5. С. 89–90. URL: www.rae.ru/meo/?section=content&op=show_article&article_id=3741 (дата обращения: 17.10.2015).
12. Харбух Дж., Бонэм-Картер Г. Моделирование на ЭВМ в геологии. – М.: Мир, 1974. – 235 с.
13. Эшби У.Р. Введение в кибернетику. – М.: КомКнига, 2005. – 432 с.
14. Burg J.P. Maximum Entropy Spectral Analysis, Proc. 37th Annual Meeting of the Society of Exploration Geophysicists. – Oklahoma City, 1967.
15. Dugas R. A History of Mechanics. – Routledge&Kegan Paul Ltd. – London, 1955. – P. 661.
1. Ayvazyan S.A., Bukhshtaber V.M., Enyukov I.S., Meshalkin L.D. *Prikladnaya statistika: klassifikatsiya i snizhenie razmernosti* [Applied statistics: classification and reduction of dimension]. Moscow, Finansy i statistika, 1989. 607 p.
2. *Bolshoy Rossiyskiy entsiklopedicheskiy slovar* [Big Russian encyclopedic dictionary]. Moscow, BRE, 2003. 1437 p.
3. Vistellius A.B. *Osnovy matematicheskoy geologii* [Fundamentals of mathematical Geology]. L, Nauka, 1980. 278 p.
4. Grechuhin V.V. *Izuchenie uglenosnykh formatsiy geofizicheskimi metodami* [The Study of the coal-bearing formations by geophysical methods]. Moscow, Nedra, 1980. 360 p.
5. Grib N. N., Samokhin A. V. *Fiziko-mekhanicheskie svoystva uglvmeschayuschikh porod Yuzhno-Yakutskogo basseyna* [Physico-mechanical properties of coal bearing rocks of the southern Yakut basin]. Novosibirsk, Nauka Publ., SE of RAS, 1999. 240 p.
6. Devis J.S. *Statisticheskiiy analiz dannykh v geologii* [Statistical analysis in Geology]. V.1. Moscow, Nedra, 1990. 368 p.
7. Kolmogorov A.N., Gnedenko B.V. *Predelnye raspredeleniya dlya summ nezavisimyykh sluchaynykh velichin* [Limit distributions for sums of independent random variables]. M.L., GITTL, 1949. 264 p.
8. Korolyuk V.S., Portenko N.I., Skorokhod A.V., Turbin A.F. *Spravochnik po teorii veroyatnostey i matematicheskoy statistike* [Handbook on probability theory and mathematical statistics]. Moscow, Nauka Publ., 1985. 640 p.
9. *Matematicheskiiy enciklopedicheskiy slovar* [Mathematical encyclopedic dictionary]. Moscow, Sov. Entsiklopediya, 1988. 847 p.
10. Rodionov D.A., Kogan R.I., Golubeva V.A. *Spravochnik po matematicheskim metodam v geologii* [Handbook of mathematical methods in Geology]. Moscow, Nedra Publ., 1987. 335 p.
11. Trofimenko S.V., Grib N.N. International journal of experimental education, 2013, no. 5, available at: www.rae.ru/meo/?section=content&op=show_article&article_id=3741 (accessed 17 October 2015).
12. Kharbukh J., Bonem-Karter G. *Modelirovanie na EVM v geologii* [Computer Modeling in Geology]. Moscow, Mir Publ., 1974. 235 p.
13. Ashby W.R. *Vvedenie v kibernetiku* [Introduction to Cybernetics]. Moscow, KomKniga Publ., 2005. 432 p.
14. Burg J.P. Maximum Entropy Spectral Analysis, Proc. 37th Annual Meeting of the Society of Exploration Geophysicists. Oklahoma City, 1967.
15. Dugas R. A History of Mechanics. Routledge&Kegan Paul Ltd. London, 1955. pp. 661.