

УДК 550.8.052

Мололкина Ольга Леонидовна

ФГАОУ ВПО «Северо-Восточный федеральный институт имени М.К. Аммосова в г. Нерюнгри»

Россия, Нерюнгри¹

Доцент, кандидат геолого-минералогических наук

E-Mail: olga-neru@mail.ru

Обоснование выбора математического аппарата при моделировании влияния геологических факторов на изменчивость качественных характеристик углей

Аннотация: На стадии разведки и на стадии эксплуатации угольного месторождения главной задачей является геологическое обеспечение перспективного планирования добычи угля с заданным качеством. Геологическое опробование возможно не по всем исследуемым разрезам скважин, поэтому достоверное определение качественных характеристик угля возможно только моделированием их изменчивости по площади предстоящей добычи. При изучении показателей качества углей установлена возможность представления угольного пласта как системы отражающей историю образования и условия формирования углей. Показано что угольный пласт обладает Марковским свойством. При построении модели качественных характеристик углей использовался математический аппарат Марковских процессов. Определены основные элементы, в наибольшей степени, отражающие эпигенетические и генетические факторы формирования качественных характеристик угольных пластов. При построении модели учитывались следующие факторы: пространственные координаты интервала, литотип кровли и почвы, индекс пачки пласта, индекс среды (вода или воздух), мощность угля и мощность пласта, интенсивность геофизических методов, зольность (рассчитанная методом регрессионного анализа). По рассчитанным данным построены карты изменения качественных характеристик углей. Погрешности результатов моделирования отвечают требованиям угольной промышленности и не превышают погрешности геологического опробования.

Ключевые слова: Показатели качества угля; Марковское свойство; Марковские процессы; факторы формирования свойств угольных пластов; геофизические данные; зольность; влага аналитическая; выход летучих веществ; толщина пластического слоя; геологическое опробование.

Идентификационный номер статьи в журнале 14TVN114

¹ 678960, РС (Я) г. Нерюнгри, ул. Кравченко 16.

Olga Mololkina

Technical Institute (branch) of the North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov
Russian, Nerungri
E-Mail: olga-neru@mail.ru

Justification of the choice of the mathematical apparatus for modeling the impact of geological factors on the variability of qualitative characteristics of coal

Abstract: At a stage of exploration and operation of coalfield, the main task is geological providing of long-term planning of coal mining with the specified quality. As geological testing is not possible in all of the investigated wells, so the reliable determination of the qualitative characteristics of coal can only be modeled by their variability in the area of upcoming production. The process of studying of qualitative characteristics of coal found a possibility of representation of the coal seam as a system reflecting the history of education and conditions of coal formation. When constructing a model of qualitative characteristics of coal a mathematical apparatus of the Markov processes was used. The basic elements which to the greatest extent reflect epigenetic and genetic factors of the qualitative characteristics of coal seams were determined. While constructing the model, the following factors were taken into account: the spatial coordinates interval, lithotype of roof and soil, index of a pack of layer, index of the medium (water or air), power of coal and layer, intensity of geophysical methods, ash content (calculated by regressive analysis). The calculated data is a basis for designing maps of change of the qualitative characteristics of coal. Error simulation results meet the requirements of the coal industry and do not exceed the geological testing error.

Keywords: Characteristics of coal quality, the Markov property, the Markov processes, factors of formation of properties of coal seams, geophysical data, ash content, analytical moisture, output of volatile substances, thickness of the plastic layer, geological testing.

Identification number of article 14TVN114

Угольный пласт можно рассматривать как систему переходных состояний отражающих историю формирования и условия образования качественных характеристик углей. Состояние это результат взаимодействия данной системы с другой по отношению, к которой она является подсистемой. Развитие горно-геологической системы определяется изменением ее элементов во временном, в трехмерном или внутригрупповом пространстве.

В случае массива горных группой считается исследуемый угольный пласт. Каждая группа индексируется значениями, характеризующими зольность угольного пласта. С этой целью шкала значений зольности разбивается на n интервалов. Например, при диапазоне изменения зольности от 5% до 40%, для значений $Ad < 10\%$ - присваивается индекс 8; $Ad = [10,1 - 15\%]$ – (9); $Ad = [15,1 - 20\%]$ – (10); $Ad = [20,1 - 30\%]$ - (11); $Ad > 30,1\%$ - (12) . Интервалы индексации зольности конкретизируются для фактического распределения этого параметра на исследуемом участке. Другая группа значений переменных для боковых пород принята следующая индексация по литотипам: (1) - уголь; (2) - углистый аргиллит; (3) - аргиллит; (4) - аргиллит алевроитовый; (5) - алевролит; (6) - песчаник; (7) - известняк.

В качестве наблюдаемых элементов системы, отражающих генетические факторы, можно принять: литотипы в кровле и почве угольного пласта, зольность угольного пласта. Литотипы в кровле и почве определяют герметичность, а следовательно энерго- и массообмен в системе уголь-вмещающие породы. Зольность пласта отражают фациальные условия углеобразования. Таким образом, мы имеем вектор генетической составляющей, описывающий литологическую последовательность слоев в почве угольного пласта (3 слоя), угольный пласт (индекс зольности) и 3 слоя в кровле угольного пласта. Для полной характеристики вектора генетической составляющей он дополняется значениями мощности (в метрах) непосредственной почвы, угольного пласта и непосредственной кровли.

Анализ влияние эпигенетических факторов выполнялся путем рассмотрения изменения показателей качества от абсолютной глубины залегания пласта и глубины от устья скважины. На рисунках 4 и 5 представлена зависимость выхода летучих веществ с абсолютной глубиной и влаги аналитической с глубиной от устья скважины.

Вектор эпигенетических факторов определяет положение пластопересечения в трёхмерных координатах геологического пространства (X, Y, Z), где X, Y - индексированные значения координат скважины на геологической карте участка, а Z - индексированное значение абсолютной глубины пластопересечения.

Следовательно, при построении модели изменчивости качественных характеристик углей вектор переходов состояний угольного пласта описывается следующим образом:

$$X \rightarrow Y \rightarrow Z \rightarrow h \rightarrow L_k \rightarrow L_p \rightarrow S \rightarrow n \rightarrow m(p) \rightarrow m(y) \rightarrow I_{гкc} \rightarrow I_{гк} \rightarrow Ad,$$

где X, Y, Z, h – координаты интервала; L_k, L_p – литотип кровли и почвы; n – индекс пачки пласта; S – индекс среды (1-вода, 2 –воздух); $m(p), m(y)$ – мощность угля и пласта; $I_{гкc}, I_{гк}$ – относительная интенсивность геофизических методов; Ad – зольность рассчитанная методом корреляционно-регрессионного анализа.

Переходные состояния массива горных пород с угольвмещающими породами обладают Марковским свойством. Т.е. по состоянию системы в момент времени $t-1$ однозначно определяется вероятность нахождения системы в том или ином состоянии в момент времени t . Следовательно, для моделирования изменчивости качественных характеристик углей целесообразно применение Марковских процессов. Характерным для Марковских процессов является то, что вероятность находиться в данном состоянии в заданный момент времени можно вывести из сведений о непосредственно предшествующем состоянии. Построение марковской модели заключается в формировании вектора переменных

для определения неизвестного параметра – основных качественных характеристик углей, полученных по лабораторным анализам.

При изучении изменчивости качественных характеристик углей возникает необходимость создания интерполяционных моделей, которые обеспечивают адекватное исследуемому геологическому телу распределение изучаемых свойств. Для этого геологическое тело разбивается на плоскости.

Для каждой плоскости рассчитываются значения в тех узлах сети, в которых уже определены наблюдаемые значения. Или определяются коэффициенты полиномиальных уравнений регрессии в координатах исследуемого интервала X , Y , Z . Недостаток перечисленных методов заключается в том, что объект рассматривается как непрерывный. Но горный массив разбит на группы. Например, литологические типы и тектонические нарушения. Следовательно, при изучении изменчивости показателей качества углей необходимо учитывать нелинейность изменчивости геосистем. Это в свою очередь дает возможность применения Марковских процессов при моделировании изменчивости качественных характеристик углей.

Из вышеизложенного следует, что для угольного пласта можно построить Марковскую модель. Комплексная интерпретация геофизических данных позволяет проводить литологическое расчленение разреза и определение литотипов кровли и почвы и разделить пласт на петрографические пачки. Для учета влияния петрографического состава углей и содержания в них минеральных примесей в вектор переменных необходимо также включить индекс пачки пласта, естественную радиоактивность, приведенную к бесконечной мощности. На величину геофизических параметров и на степень постдиагенетических преобразований в современное время заметно влияние среды (воздух, вода). Степень постоянства показателей качества углей зависит от мощностей угля и угольного пласта, поэтому эти факторы взвешиваются на свои мощности. Местоположение элементов в векторе зависит от его значимости для решения задачи и приближения к минимальной погрешности.

Модель адаптировалась в условиях пласта «Мощный» Нерюнгринского месторождения Южно-Якутского угольного бассейна.

Пласт «Мощный» представлен большим различием минерального состава золы в разных пачках угля. В связи с этим, был использован метод литологического расчленения разрезов углеразведочных скважин по геофизическим данным. Пласт «Мощный» был разделен на пять угольных пачек и один породный прослой.

На первом этапе построения модели был выполнен расчет многомерного уравнения регрессии для зависимости выхода летучих веществ V^{daf} от перечисленных элементов.

$$V_{daf} = -37,209 - 0,004N_{yc} + 0,101N_{абс} - 1,122L_k - 0,438L_{п} - 0,597A_d$$

Однако полученная связь характеризуется низким значением коэффициента множественной корреляции ($R=0.575$), что делает проблематичным корреляционный подход к решению поставленной задачи.

Основная качественная характеристика углей - зольность рассчитывалась методом регрессионного анализа. Особенности фациальных условий осадконакопления отображаются в значениях и изменчивости зольности, в связи с чем, зольность должна присутствовать в структурном векторе. Устанавливалась корреляционная зависимость между относительной интенсивностью гамма – излучения измеряемой геофизическим методом и показателем зольности. По установленным регрессионным зависимостям $A_d = f(I_{отн.})$ рассчитана зольность углей пласта «Мощный» по составляющим его пачкам. Уравнения регрессии приведены в таблице 1.

Таблица 1

**Зависимость зольности ($A_d, \%$) от относительно интенсивности (Iотн.)
 для пласта «Мощный» по составляющим его пачкам**

| № пачки | коэффициент корреляции | уравнение регрессии |
|---------|------------------------|--|
| 1 | 0,84 | $A_d = -14,86 * \ln(I_{отн.}) + 8,78$ |
| 2 | 0,91 | $A_d = 15,34 * (I_{отн.})^{-0,31}$ |
| 3 | 0,88 | $A_d = 94,96 * \exp(-2,11 * (I_{отн.}))$ |
| 4 | 0,84 | $A_d = 93,38 * \exp(-2,07 * (I_{отн.}))$ |
| 5 | 0,91 | $A_d = -13,04 * \ln(I_{отн.}) + 19,82$ |

Достоверность определения основных качественных характеристик углей определялась путем сопоставления с данными, полученными по геологическому опробованию. Результаты сопоставления представлены в таблице 2.

Таблица 2

Сопоставление модельных значений с данными по геологическому опробованию

| По геологическому опробованию | | | | | Прогнозные значения | | | | |
|-------------------------------|-----------|-----------|----------------|---------------|---------------------|-----------|-----------|----------------|---------------|
| Гори-зонт | $A^d, \%$ | $W^a, \%$ | $Y, \text{мм}$ | $V^{daf}, \%$ | № скаж | $A^d, \%$ | $W^a, \%$ | $Y, \text{мм}$ | $V^{daf}, \%$ |
| 619,4 | 17,8 | 0,55 | 12 | 21 | 4861 | 17,0 | 0,60 | 15 | 23 |
| 679,2 | 18,2 | 0,75 | 15 | 19 | 4858 | 18,5 | 0,70 | 17 | 20 |
| 683,8 | 17,5 | 0,98 | 10 | 20 | 4848 | 18,0 | 0,60 | 15 | 22 |
| 690,7 | 17,4 | 0,50 | 17 | 18 | 4854 | 17,5 | 0,50 | 17 | 18 |
| 697,7 | 18,0 | 0,55 | 14 | 19 | 4859 | 17,5 | 0,57 | 15 | 18 |
| 713,4 | 17,3 | 0,78 | 16 | 20 | 4860 | 18,0 | 0,80 | 16 | 20 |
| 761,3 | 17,5 | 0,95 | 13 | 20 | 4857 | 17,0 | 0,80 | 15 | 21 |
| 734,3 | 17,2 | 0,65 | 12 | 20 | 4853 | 18,0 | 0,67 | 15 | 20 |
| 691,4 | 16,8 | 0,70 | 12 | 19 | 4840 | 17,5 | 0,65 | 13 | 19 |
| 694,9 | 17,0 | 0,90 | 18 | 23 | 4850 | 18,0 | 0,87 | 18 | 25 |
| 692,0 | 18,1 | 0,65 | 17 | 21 | 4852 | 18,0 | 0,75 | 17 | 23 |
| 117,1 | 17,2 | 0,75 | 11 | 20 | 4834 | 17,0 | 0,75 | 13 | 17 |
| 893,3 | 18,5 | 0,80 | 17 | 19 | 4816 | 19,0 | 0,80 | 17 | 21 |
| 734,9 | 18,6 | 0,68 | 17 | 20 | 4849 | 19,5 | 0,69 | 17 | 23 |
| 691,5 | 18,8 | 0,80 | 13 | 18 | 4804 | 19,0 | 0,87 | 13 | 18 |
| 697,1 | 18,1 | 0,75 | 14 | 20 | 4845 | 18,5 | 0,69 | 15 | 20 |
| 697,0 | 19,0 | 0,80 | 16 | 21 | 4850 | 20,0 | 0,87 | 17 | 23 |

По рассчитанной модели определяются качественные характеристики углей там, где их определение при геологическом опробовании невозможно. Учитывая, что достоверное геологическое опробование возможно только по ограниченному числу случаев, а результаты геофизических исследований скважин достоверны для всех исследуемых разрезов, рассчитанная модель позволяет получить достоверные данные и построить карты изменения качества углей на площади предстоящей добычи, оперативно управлять качеством угольной продукции и планировать ведение горных работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бакланов В.Г. Геолого-геофизическая методика изучения физико-механических свойств угленосных пород и их устойчивости в горных выработках (на примере Воркутинского месторождения).//Автореферат дис. к.г.-м.н. – Москва, 1980. – 32 с.
2. Баранов Ю.Д., Бусыгин Б.С., Никулин С.Л. Трехмерное моделирование пластовых месторождений для оптимизации объемов буровых работ.//Горный информационный аналитический бюллетень.-2004.-С.197-201.
3. Гриб Н.Н. Изучение зольности угольных пластов геофизическими методами исследования скважин в Южно-Якутском каменноугольном бассейне. //Автореферат диссертации на соискание ученой степени к.г.-м.н. М.: РТП ВНИИГеофизика, 1994. – 18с.
4. Гриб Н.Н., Самохин А.В., Черников А.Г. Методологические основы системного исследования массива горных пород. Якутск: Изд-во ЯНЦ СО РАН, 2000.- 104с.
5. Гриб Н.Н., Зарипова С.Н. Моделирование горно-геологических систем. – Якутск: Изд-во Якутского госуниверситета, 2002. – 151с.
6. Гречухин В.В. Изучение угленосных формаций геофизическими методами. – М.: недра, 1980.- 360с.
7. Гречухин В.В. Петрофизика угольных формаций. – М.: недра, 1990.- 360с.
8. Отчет по х/д 9/2000 «Прогноз физико-механических свойств углей на Нерюнгринском каменноугольном месторождении по геолого – геофизической методике». Нерюнгри, 2004. -38 с.
9. Руководство по геолого-геофизической методике изучения литологии отложений угольных месторождений. Гречухин В.В., Климов А.А., Иохин С.Б., Бакланов В.Г. М.: ВНИИГеофизика, 1980. -78с.
10. Черников А.Г. Методика литогенетического прогнозирования показателей качества углей по комплексу геолого-геофизических данных.// Материалы выездной сессии Научно-координационного Совета по угольной геофизике. ЕАГО, п.Стрелковое, 1994. – С.18-31.

Рецензент: Трофименко Сергей Владимирович, ведущий научный сотрудник лаборатории сейсмологии и сейсмотектоники института тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, доктор геолого-минералогических наук.

REFERENCES

1. Baklanov V.G. Geologo-geofizicheskaja metodika izuchenija fiziko-mehaničeskikh svojstv uglenosnyh porod i ih ustojčivosti v gornyh vyrabotkah (na primere Vorkutinskogo mestorozhdenija).//Avtoreferat dis. k.g.-m.n. – Moskva, 1980. – 32 s.
2. Baranov Ju.D., Busygin B.S., Nikulin S.L. Trehmernoje modelirovanie plastovyh mestorozhdenij dlja optimizacii ob#emov burovyh rabot.//Gornyj informacionnyj analitičeskij bjulleten'.-2004.-S.197-201.
3. Grib N.N. Izučenie zol'nosti ugol'nyh plastov geofizičeskimi metodami issledovanija skvazhin v Juzhno-Jakutskom kamennougol'nom bassejne. //Avtoreferat dissertacii na soiskanie učenoj stepeni k.g.-m.n. M.: RTP VNIIGeofizika, 1994. – 18s.
4. Grib N.N., Samohin A.V., Chernikov A.G. Metodologičeskie osnovy sistemnogo issledovanija massiva gornyh porod. Jakutsk: Izd-vo JaNC SO RAN, 2000.- 104s.
5. Grib N.N., Zaripova S.N. Modelirovanie gorno-geologičeskikh sistem. – Jakutsk: Izd-vo Jakutskogo gosuniversiteta, 2002. – 151s.
6. Grechuhin V.V. Izučenie uglenosnyh formacij geofizičeskimi metodami. – M.: nedra, 1980.- 360s.
7. Grechuhin V.V. Petrofizika ugol'nyh formacij. – M.: nedra, 1990.- 360s.
8. Otčet po h/d 9/2000 «Prognoz fiziko-mehaničeskikh svojstv uglej na Nerjungrinskom kamennougol'nom mestorozhdenii po geologo – geofizičeskoi metodike». Nerjungri, 2004. -38 s.
9. Rukovodstvo po geologo-geofizičeskoi metodike izučeniija litologii otloženij ugol'nyh mestorozhdenij. Grechuhin V.V., Klimov A.A., Iohin S.B., Baklanov V.G. M.: VNIIGeofizika, 1980. -78s.
10. Chernikov A.G. Metodika litogenetičeskogo prognozirovaniija pokazatelej kachestva uglej po kompleksu geologo-geofizičeskikh dannyh.// Materialy vyezdnoj sessii Naučno-koordinacionnogo Soveta po ugol'noj geofizike. EAGO, p.Strelkovoe, 1994. – S.18-31.