

## ИЗУЧЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА УГЛЕПОРОДНОГО МАССИВА ГЕОФИЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ НА ПРИМЕРЕ ИЗУЧЕНИЯ ЗОЛЬНОСТИ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

Гриб Н. Н., Кузнецов П. Ю., Сясько А. А., Качаев А. В.

*Технический институт (филиал) ФГАОУ ВПО «Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова» в г. Нерюнгри, Республика Саха (Якутия), Россия (678960, Республика Саха (Якутия), г. Нерюнгри, ул. Кравченко, 16), e-mail: [kuznetsov.pavel.yu@gmail.com](mailto:kuznetsov.pavel.yu@gmail.com)*

В статье представлены авторские исследования по изучению показателей качества углей с применением геофизических методов исследований скважин на примере определения зольности углей каменноугольных месторождений Южно-Якутского бассейна. Приведены три различных разработанных авторами подхода к определению зольности угля, обладающих достаточной степенью достоверности и эффективности в определении зольности по геофизическим данным. Рассмотрены достоинства и недостатки разработанных методов определения зольности. Рекомендован наиболее универсальный и эффективный метод определения показателей качества угля по данным геофизических исследований скважин. Разработана модель прогноза показателей качества углей, основанная на использовании математического аппарата Марковских процессов и учитывающая генетические и эпигенетические факторы их формирования. Проанализированы результаты определения показателей качества углей (на примере Нерюнгринского угольного месторождения), полученные по лабораторным пробам и в результате прогнозирования на основе предложенной модели, которые показали хорошую сходимость лабораторных прогнозируемых показателей качества углей.

Ключевые слова: геофизические методы исследования скважин; показатели качества, зольность угля; геолого-геофизическое прогнозирование; моделирование.

## COAL QUALITY INDICATORS RESEARCH WITH THE USE OF GEOPHYSICAL METHODS ON THE BASIS OF COAL BED ASH CONTENT

Grib N. N., Kuznetsov P. Y., Syasko A. A., Kachaev A. V.

*Technical Institute (branch) FSAEI of HPE "North-Eastern Federal University named after M. K. Ammosov" in Nerungry, Sakha Republic (Yakutia), Russia (678960, Sakha Republic (Yakutia), Nerungry, 16 Kravchenko-st.), e-mail: [kuznetsov.pavel.yu@gmail.com](mailto:kuznetsov.pavel.yu@gmail.com)*

The article touches upon the author's research on coal quality indicators with the geophysical methods of wells research on the example of coal deposits ash content measuring in the South-Yakut field. The three different developed by the authors approaches determining the ash content of coal with a sufficient degree of reliability and efficiency in measuring the ash content according to geophysical data are presented in the article. The advantages and disadvantages of the developed ash measuring methods are considered. The most universal and effective method of coal quality indicators measuring on the basis of geophysical wells research data is recommended. The authors have worked out the coal quality forecasting model based on Markovian process mathematical tool and considering the genetic and epigenetic factors of their formation. The results of coal quality indicators measurement, received on laboratory tests and the offered model forecasting result with a good agreement of laboratory and forecasted coal quality indicators, are analyzed (on the bases of Nerungrinsky coal field).

Key-words: geophysical methods of wells research, quality indicators, coal ash, geological-geophysical forecasting, modeling.

При разведке и разработке угольных месторождений одним из важнейших показателей качества угольных пластов, определяющих их кондиционность при подсчете запасов, является зольность. Таким образом, учитывая важность определения показателя зольности углей, возникает необходимость решения задачи его достоверного и информативного изучения, которого можно достичь разработкой геолого-геофизических методов изучения зольности угольных пластов. Выбор геофизических методов для решения поставленной

задачи предопределен возможностью изучения зольности углей в условиях их естественного залегания. В качестве научно-исследовательской площадки для решения этой задачи авторами была принят Южно-Якутский угольный бассейн.

Первым этапом в решении задачи определения зольности ( $A^d$ ) угольных пластов по геофизическими данным являлось применение существующих корреляционных связей ( $A^d$ ) с изучаемыми геофизическими параметрами процессов распространения и взаимодействия физических полей с углями, которые устанавливаются для конкретных месторождений, угленосных районов. В качестве основного геофизического метода определения зольности пластов угля был принят метод селективного микро-гамма-гамма каротажа (МГГК-С).

В результате выполненных авторами исследований для условий Южно-Якутского угольного бассейна была установлена следующая зависимость:

$$A^d = 94,96 \cdot EXP(-2,11 \cdot (I_{отн}^{\gamma\gamma-c})), \quad (1)$$

$$I_{отн}^{\gamma\gamma-c} = \frac{I_i^{\gamma\gamma-c}}{I_{эм}^{\gamma\gamma-c}} \quad (2)$$

где  $I_i^{\gamma\gamma-c}$  – интенсивность рассеянного гамма-гамма излучения по интервалам опробования скважины;  $I_{эм}^{\gamma\gamma-c}$  – интенсивность рассеянного гамма-гамма излучения на эталонной модели.

Как видно из результатов исследований [3], между рассматриваемым геофизическим параметром  $I_{отн}^{\gamma\gamma-c}$  и зольностью существует тесная связь, коэффициент корреляции ( $R_0 = 0,92 \pm 0,01$ ). Случайные погрешности (абсолютная  $\sigma = 2,88\% A^d$  абс., относительная  $\delta = 11\%$  отн.), при отсутствии систематически значимой погрешности ( $t_d \leq t_{0,05} = 1,96$ ).

Установленная зависимость имеет универсальный характер для Южно-Якутского бассейна, то есть ею можно руководствоваться при определении зольности углей на разных месторождениях по данным МГГК-С; изменение типа аппаратуры не вносит искажений в характер зависимости [3, 5].

Стоит отметить, что зависимость рассматриваемого геофизического параметра от зольности имеет нелинейный характер, что приводит к определенным трудностям при интерпретации. При этом необходимо учитывать, что для определения зольности угольных пластов рассчитывать среднюю величину геофизического параметра  $I_{отн}^{\gamma\gamma-c}$  нельзя из-за большой изрезанности геофизических кривых. Таким образом, возникает необходимость разбивать угольный пласт на однородные пачки, в пределах которых коэффициент вариации параметра  $W(I_{отн}^{\gamma\gamma-c}) < 20\%$ , для каждой пачки определяется зольностью  $A^d$  по установленной зависимости. Среднепластовую зольность рекомендуется определять по

формуле:

$$A^d = \frac{\sum A_i^d \cdot h_i \cdot \delta_i}{\sum h_i \cdot \delta_i} \quad (3)$$

где:  $h_i$ ,  $\delta_i$  – плотность и мощность  $i$ -той пачки.

Несмотря на хорошие полученные результаты применения метода *МГГК-С*, для определения зольности он имеет ограниченное применение в скважинах со сложными горнотехническими условиями. В пределах Южно-Якутского бассейна ранее предпринимались попытки разработки методики определения  $A^d$  по данным ГК, но они не дали обнадеживающих результатов по причине изменчивости вещественного состава минеральных примесей от петрографического типа угля и влияния изменчивости вещественного состава минеральных примесей на геофизические параметры [1,2,3]. Учитывая ранее проведенные исследования, а также изучив влияние состава минеральных примесей на такие геофизические параметры, как интенсивность естественного гамма-излучения ( $I_\gamma$ ) и кажущуюся электропроводность ( $\sigma_k$ ), было принято решение, что для определения зольности угольных пластов необходимо использовать эти параметры в комплексе. Такой подход позволит обеспечить взаимную корректировку в характере связи  $A^d = f(I_\gamma, \sigma_k)$  в зависимости от петрографического состава углей и изменения вещественного состава минеральных примесей в них [5]. Так, с уменьшением содержания кремнезема и увеличением содержания каолинита в угле проводимость его возрастает. Естественная радиоактивность угля возрастает с увеличением содержания в нем фюзенита. Поэтому для учета влияния указанных выше факторов используются многофункциональные связи зольности углей с геофизическими параметрами. В результате, экспериментально была получена следующая функция:

$$A^d = a \cdot e^{b \cdot I_\gamma \cdot h} \quad (4)$$

где:

$$a = 0,0538 \cdot \delta \cdot I_\gamma h + 0,932 = \frac{0,0538 \cdot I_\gamma h_i}{I_{\gamma cp} + 0,932};$$

$$b = d \cdot e^{(c - I_\gamma h)};$$

$$d = 0,0082 \cdot \delta \cdot \sigma_k + 0,755 = 0,0082 \cdot \sigma_{ki} + 0,755;$$

$$c = -0,0685;$$

$I_\gamma h$  – исправленное значение естественной радиоактивности (внесены поправки, учитывающие искажающее влияние ограниченной мощности, скорости, диаметра скважины и бурового раствора).

Достоверность определения зольности по геофизическому комплексу методов

составляет: среднеквадратическая погрешность (абсолютная  $\sigma = 2,88\% A^d$  абс., относительная  $\delta = 11\%$  отн.) при незначимости систематической погрешности.

Учитывая современный уровень развития геофизической аппаратуры, а также широкое внедрение в геологоразведочную практику электронной вычислительной техники позволяет разрабатывать более совершенные методики моделирования и прогнозирования свойств, строения, состава и состояния массива горных пород. Одной из таких разработанных авторами методик для Южно-Якутского каменноугольного бассейна является геолого-геофизическая технология прогнозирования показателей качества углей, учитывающая опыт вышеприведенных исследований.

В основу данной технологии геолого-геофизического прогнозирования показателей качества углей (зольности) положено системное представление массива горных пород и динамика его формирования и преобразования.

Физико-геологическая сущность массива горных пород, как системы, определяется четырьмя основными категориями: *СОСТАВ*, *СТРОЕНИЕ*, *СОСТОЯНИЕ* и *СВОЙСТВА*. Графически схема системного представления массива горных пород выражается в виде информационного тетраэдра, вершины которого соответствуют 100 % информации о составе, строении, состоянии и свойствах. Исследуя объект через его свойства, получаем набор данных, содержащих информацию об объекте, на основании которой создается информационная модель объекта, используя созданную модель, прогнозируется состав, строение и состояние объекта [4].

Одним из наиболее эффективных способов изучения систем такого типа является использование методов многофакторного динамического моделирования. Для многофакторного динамического моделирования наиболее перспективным является использование математического аппарата Марковских процессов.

Построение модели показателей качества углей на участке исследования начинается с конкретизации переменных (определения системы объекта), входящих в вектор Марковской модели. Вектор переменных (система) состоит из 2-х групп числовых последовательностей (подсистем), отражающих факторы формирования показателей качества – генетические и эпигенетические: [*вектор генетических факторов*] [*вектор эпигенетических факторов*].

Вектор генетических факторов представляет собой последовательность чередования формализованных значений основных литотипов пород и углей в последовательности слоев, включающих исследуемый угольный пласт. Такая группа слоев, несущая информацию о предыстории и послееистории образования угольного пласта, названа “пакетом”. Границы пакета в нашем толковании определяются информативностью системы.

Следующий этап формализации заключается в определении ранговых значений переменных. Для боковых пород Южно-Якутского угольного бассейна принята следующая индексация литологических типов: {1} – уголь; {2} – углистый аргиллит; {3} – аргиллит; {4} – аргиллит алевритовый; {5} – алевролит; {6} – песчаник; {7} – известняк.

Исследуемый угольный пласт 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  $A^d < 10\%$  присваивается индекс {8};  $A^d = [10,1 - 15\%]$  – {9};  $A^d = [15,1 - 20\%]$  – {10};  $A^d = [20,1 - 30\%]$  – {11};  $A^d > 30\%$  – {12}. Интервалы индексации зольности конкретизируются для фактического распределения этого параметра на исследуемом участке. Таким образом, создается 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.

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

Учитывая вышеизложенное, исследуемое пластопересечение в пространстве геологических признаков и в координатах месторождения (в массиве) описывается следующим вектором:

$$X \Rightarrow Y \Rightarrow Z \Rightarrow L1 \Rightarrow L2 \Rightarrow L3 \Rightarrow A^d \Rightarrow L5 \Rightarrow L6 \Rightarrow L7 (h_3; h_y; h_5), \quad (5)$$

где:  $X, Y, Z$  - индексы координат;  $L1 \dots L7$  - индексы литотипов в почве и кровле угольного пласта;  $A^d$  - индекс зольности;  $h_3, h_y, h_5$  - значения мощности непосредственной почвы угольного пласта или пачки и непосредственной кровли.

Такой вектор можно рассматривать как совокупность независимых переменных и может быть использован для прогноза иных показателей качества угля. В качестве параметров принимаются значения технологических свойств углей - неотрицательные числа. Источники информации для получения переменных и параметров:  $Z$  – шкала глубин на геофизической диаграмме;  $X, Y$  – координаты скважины на геологической карте (плане);  $L1 \dots L7$  – литологическая колонка по ГИС на сводной геофизической диаграмме;  $h_3, h_y, h_5$  – мощности по данным ГИС; показатели качества углей по данным лабораторных анализов.

Из совокупности подготовленных векторов переменных и параметров (прогнозируемых свойств углей), формируется файл модельных данных. Сформированный

модельный файл используется для построения математической модели показателей качества углей программой *Vprognoz* [4]. Используя данную модель, рассчитывается для каждого вектора анализируемых данных прогноз показателей качества углей.

Анализ сопоставлений результатов определения показателей качества углей по лабораторным пробам и результатов прогноза на Нерюнгринском месторождении показал, что характеристики модели адекватны характеристикам реального объекта. Так, относительные погрешности составили:  $A_k^d - 5,45$  (зольность концентрата);  $A_y^d - 7,95$  % (зольность угля);  $W^a - 10$  % (влага аналитическая);  $V^{daf} - 5,68$  % (выход летучих);  $Y - 8,8$  % (высота пластического слоя). Средняя квадратическая погрешность:  $A_k^d - 0,4$  %;  $A_y^d - 1,61$  %;  $W^a - 0,1$  %;  $V^{daf} - 0,71$  %;  $Y - 1,31$  %.

### Список литературы

1. Геофизические методы изучения геологии угольных месторождений / В. В. Гречухин [и др.]. – М.: Недра, 1995. – 477 с.
2. Гречухин В. В. Изучение угольных формаций геофизическими методами / В. В. Гречухин. – М.: Недра, 1980. – 360 с.
3. Гриб Н. Н. Изучение зольности угольных пластов геофизическими методами исследования скважин в Южно-Якутском каменноугольном бассейне: Автореферат дисс... канд. геол.-минерал. наук. – М.: РТП ВНИИГеофизика, 1994. – 18 с.
4. Гриб Н. Н., Самохин А. В., Черников А. Г. Методические основы системного исследования массива горных пород. – Якутск: Изд-во ЯНЦ СО РАН, 2000. – 104 с.
5. Гриб Н. Н., Самохин А. В. Влияние изменений состава минеральных примесей в углях на их геофизические параметры (Южно-Якутский бассейн) // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 1999. – № 5. – С. 140-142.

### Рецензенты:

Ткач Сергей Михайлович, д-р техн. наук, директор, Институт горного дела Севера им. Н. В. Черского СО РАН, г. Якутск.

Колодезников Игорь Иннокентьевич, д-р геол.-минерал. наук, профессор, президент Академии наук РС(Я), г. Якутск.