© Н.В. Журавлева, Р.Р. Потокина, З.Р. Исмагилов, 2015

УДК 547.211:622.411.33:552.57

*Н.В. Журавлева, Р.Р. Потокина, З.Р. Исмагилов*

# ИЗУЧЕНИЕ ГАЗОНОСНОСТИ УГЛЕЙ УСИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПЕЧОРСКОГО УГОЛЬНОГО БАССЕЙНА ПРЯМЫМ И КОСВЕННЫМ МЕТОДАМИ

*Газоносность угольных образцов Печорского угольного бассейна Усинского месторождения исследована методами прямого и косвенного определения. Проведен сравнительный анализ двух методов определения газоносности угольных пластов. Показано, что прямой метод является самым распространенным, однако достоверность анализа зависит от многих факторов: времени подъема угольного керна до его герметизации, качества герметизации керногазонаборника, своевременной доставки проб в лабораторию. Достоинством косвенных методов является возможность проведения серии анализов с одним образцом, отобранным из угольного пласта. Косвенный метод определения газоносности угольных пластов дополняет и уточняет величину газоносности, полученную прямым методом. Для определения газоносности косвенным методом разработана и изготовлена установка по определению максимальной газоемкости при давлении до 80 атм. Установка обеспечивает проведение тестирования при температуре и давлении газа, измеренных в угольном пласте. Определение сорбционных свойств угольных образцов на установке основано на объемном методе измерения. Количественный и компонентный состав угольных газов определен методами, основанными на сочетании газо-жидкостной и газоадсорбционной хроматографии*

*Ключевые слова: уголь, газоносность, косвенный и прямой методы определения газоносности, метан угольных пластов, адсорбция.*

Во всем мире растет интерес к изучению метана угольных пластов (МУП) с целью его промышленной добычи и создания безопасных условий работы на угледобывающих предприятиях. Добываемые газы угольных пластов применяются в качестве энергоносителей: в производстве электроэнергии, автомобильном транспорте, котельных установках. Угольный метан используется также в промышленных процессах получения углерода и водорода, ацетилена, кислородсодержащих органических соединений (спиртов, альдегидов, кислот), являясь одним из крупнейших источником углеводородов, ресурсы которого соизмеримы с ресурсами газа традиционных месторождений. Высокая теплотворная способность при низком содержании сернистых соединений и отсутствии механических примесей делает его высокоэкологичным топливом.

Промысловая добыча МУП – это наукоемкий и финансово затратный процесс, сопровождающийся как геологическими, так и техническими рисками. Однако, с появлением новых эффективных технологий извлечения метана из угольных пластов и ростом цен на традиционные источники топлива число проектов по промышленной добыче метана неуклонно растет. Одним из основных критериев для обоснования промышленной добычи МУП является оценка его прогнозных запасов.

На этапе предварительной разведки для определения газоносности исследуемой площади необходимо установить: общий характер качественного состава газов и газовую

зональность; глубину поверхности зоны метановых газов и общую качественную характеристику природной газоносности угольных пластов в зоне метановых газов; возможное влияние геологических факторов (тектоника, угленосность, трещиноватость, метаморфизм углей, фильтрационные и сорбционные свойства углей) на распределение газов в угольных пластах и вмещающих породах.

На стадии детальной разведки необходимо определить природную газоносность рабочих пластов в зоне метановых газов на всей площади месторождения (участка) с предельной погрешностью не более ±5 м$^3$/т [1].

Основное количество метана (до 95%) в угольном пласте находится в сорбированном состоянии. Для количественного определения объема сорбированного метана применяются методы прямого и косвенного определения.

Метод прямого определения [2, 3] основан на применении специальных колонковых снарядов (керногазонаборников), которые позволяют отобрать пробы угля, пород и газа в их естественном соотношении и определить содержание газа в керне, близкое к природному. Проба угля, отобранная на скважине в герметичные металлические сосуды или керногазонаборники (КГН), доставляется в лабораторию. Дегазация угольных кернов начинается со сбора свободного газа, выделяемого из угля при внешнем давлении равном атмосферному и при комнатной температуре. Далее КГН подсоединяют к газосборной емкости, предварительно вакуумированной до остаточного давления 10–15 мм рт.ст., и термостатируют при температуре 80 °С в течение 8 ч. Дегазация угольного керна считается законченной, когда в условиях нагрева и вакуума скорость выделения газа составляет 10–15 см$^3$/ч. Из газосборной емкости газ переводится в бюретку для измерения объема выделившегося газа. Анализ газа, извлеченного из угольного керна, проводится методом газовой хроматографии [4].

Метод косвенного определения сводится к установлению метаноносности угля по его газоемкости – способности угля поглощать газ в определенных термодинамических условиях. В зависимости от способа измерения количества поглощенного метана все косвенные методы подразделяются на объемные, весовые и динамические, применяемые в газовой хроматографии.

Целью данной работы является сравнительный анализ прямого и косвенного методов количественного определения метана, сорбированного на образцах угольных кернов, отобранных из скважин Печорского угольного бассейна, Усинского месторождения.

Отбор проб угля, для определения газоносности и изучения сорбционных свойств, производился герметичными стаканами. Дегазацию угольного керна проводили в два этапа: при температуре 20 °С и атмосферном давлении и на термовакуумной установке при температуре 80 °С, давлении 10–15 мм рт.ст. в течение 8 часов. Суммарный объем газа в пробе определяли, как сумму объемов всех этапов дегазации. Газоносность образцов углей рассчитывали, как отношение суммарного объема газа к 1 г горючей массы пробы (см$^3$/с.б.м). Анализ компонентного состава газа проводили на газовых хроматографах «Кристалл-5000.2» методом, основанным на сочетании газожидкостной и газоадсорбционной хроматографии. Аналитическую влагу определяли, как потерю массы навески угля при нагревании в сушильном шкафу при 105–110 °С до постоянной массы. Для определения зольности пробу угля озоляли в муфельной печи, нагреваемой с определенной скоростью

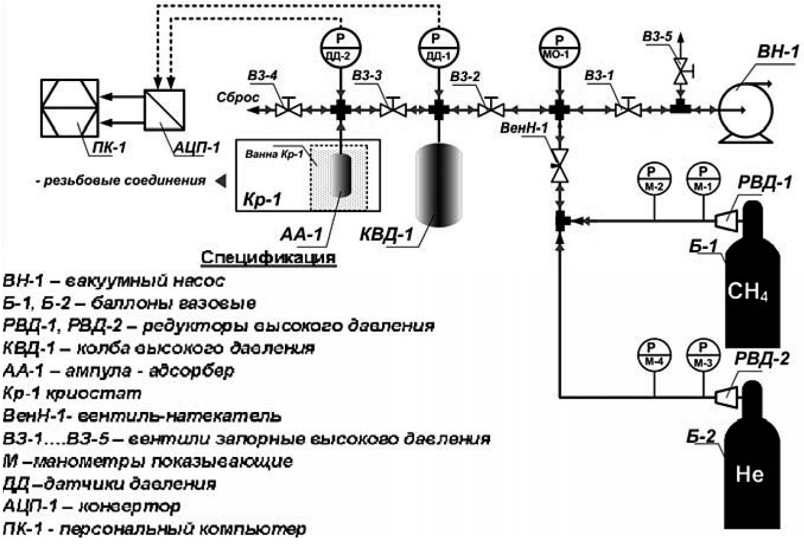


***Рис. 1. Функциональная схема установки по определению газоемкости (метаноемкости) угля при давлении до 80 атм.***

до температуры (815±10) °С, и выдерживали при этой температуре до постоянной массы. Зольность в процентах рассчитывали по массе остатка после прокаливания.

Для определения количества метана, сорбированного угольным образцом, использовали установку по определению максимальной метаноемкости угля. Установка разработана совместно Институтом катализа им. Г.К. Борского СО РАН (г. Новосибирск) и ОАО «ЗСИЦентр» (г. Новокузнецк).

Технические характеристики установки, принципиальная схема которой приведена на рисунке, следующие: объем ампулы-адсорбера – 30 см$^3$, объем колбы высокого давления – 400 см$^3$, рабочее давление 1–80 атм, рабочая температура – +5…+50 °С, давление газа в системе вакуумирования – 10 мм рт.ст.

Данная установка позволяет проводить исследования максимальной газоемкости углей при температуре и давлении, равных пластовым. При выполнении испытаний проба угля помещается в ампулу-адсорбер высокого давления, в которую подается метан. По падению давления в ампуле и достижению равновесного состояния определяется величина максимальной газоемкости. Объем свободного пространства в ампуле-адсорбере определяется напуском гелия с последующей его откачкой.

Для проведения испытаний пробы угля предварительно измельчали (фракция 0,20–0,25 мм), термовакуумировали при температуре 105 °С и остаточном давлении 10 мм рт.ст. Измерение метаноносности угольных образцов (навеска массой 10–15 г) проводили при температуре 20 °С и давлении 50 атм до достижения сорбционного равновесия.

Выбор рабочего давления основан на анализе литературных данных зависимости природного давления метана от глубины залегания угольного пласта. Давление газа в угольных пластах Печорского угольного бассейна на глубине 300–450 м находится в интервале от 40–50 атм, а на глубине 200–300 м от 17 до 30 атм [5, 6].

Все образцы угольных проб отобраны из зоны метановых газов, которая в Печорском угольном бассейне

***Показатели газоносности углей Усинского месторождения Печорского угольного бассейна, полученные методами прямого и косвенного определения***

| Проба № | Глубина отбора, м | CH4, % (об.) | P, атм | Газоносность пробы, см³/с.б.м. | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | прямой метод | косвенный метод |
| 1 | 214,84–215,12 | 90,0 | 50 | 13,24 | 44,21 |
| 1 | 214,84–215,12 | 90,0 | 20 | 13,24 | 15,15 |
| 2 | 316,50–316,78 | 91,0 | 50 | 16,28 | 16,86 |
| 3 | 351,50–351,78 | 87,6 | 50 | 11,74 | 18,17 |
| 4 | 407,31–407,59 | 92,5 | 50 | 17,11 | 18,01 |

установлена по содержанию метана более 70%. Концентрация метана в газе, извлеченном из угольных кернов, находится в интервале от 87,6 до 92,5 % (об.) (таблица).

Значения газоносности, установленные косвенным методом выше, чем значения, полученные прямым методом, поскольку при извлечении угольных кернов из скважин до их размещения в герметичные стаканы возможны потери части адсорбированного газа (прямой метод). Для получения достоверных значений газоносности при исследовании косвенным методом необходимо проводить эксперимент при значениях температуры и давления газа, измеренных в угольном пласте. Аномально высокая газоносность для образца № 1, полученная при проведении испытаний косвенным методом, связанна с проведением эксперимента при рабочем давлении 50 атм, что не характерно для данной глубины залегания пласта (214,84–215,12 м). При повторном определении газоносности данной пробы при давлении 20 атм получено значение равное 15,15 см³/с.б.м. Одним из важных преимуществ косвенного метода является возможность проведения повторных экспериментов с одним и тем же образцом, что исключено для прямого метода исследования.

Согласно [1] природную газоносность угольных пластов необходимо определять с погрешностью не более ± 5 м³/т, что достигается при проведении исследований косвенным методом в термодинамических условиях угольного пласта (давлении газа и температуре, измеренных при испытаниях газодинамических свойств пласта). Таким образом, исследование газоносности углей косвенным методом позволяет уточнить величину природной газоносности, полученную прямым методом.

## *СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ*


1. *Приказ* Ростехнадзора № 679 от 01.12.2011 г. «Об утверждении Инструкции по дегазации угольных шахт».
2. *Инструкция* по определению и прогнозу газоносности угольных пластов и вмещающих пород при геолого-разведочных работах (утв. Председателем ГКЗ СССР 07.10.1977 г.). – М.: Недра, 1977. – 96 с.
3. *ОСТ 41–01-276–87*. Природная газоносность угольных месторождений. Методы лабораторного изучения. – Ростов-на-Дону: Ростапринт ВНИГРИуголь, 1988. – 28 с.
4. *ГОСТ 31371.7–2008*. Газ природный. Определение состава методом газовой хроматографии с оценкой неопределенности. Часть 7. Методика выполнения измерений молярной доли компонентов. – М.: Стандартинформ, 2009. – 21 с.
5. *Малышев Ю.Н., Трубецкой К.Н., Айруни А.Т.* Фундаментальные прикладные методы решения проблемы метана угольных пластов. – М.: Изд. Академии горных наук, 2000. – 519 с.
6. *Газоносность* угольных бассейнов и месторождений СССР. Т. 1. Угольные бассейны и месторождения европейской части СССР. – М.: Недра, 1979. – 454 с. ГИАБ

## КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

*Журавлева Наталья Викторовна* – кандидат химических наук, доцент, руководитель отдела, e-mail: zhuravleva_nv@zsic.ru,
*Потокина Роза Равильевна* – ведущий специалист, e-mail: potokina_rr@zsic.ru,
Отдел экологии, хроматографии и нефтепродуктов
ОАО «Западно-Сибирский испытательный центр»;
*Исмагилов Зинфер Ришатович* – доктор химических наук, профессор,
член-корреспондент РАН, директор Института углехимии и химического материаловедения СО РАН, e-mail: IsmagilovZR@iccms.sbras.ru.

UDC 547.211:622.411.33:552.57

## THE STUDY OF THE GAS CONTENT OF COALS FROM THE USINSK DEPOSIT IN THE PECHORA COAL BASIN BY DIRECT AND INDIRECT METHODS

*Zhuravleva N.V.*[1], Candidate of Chemical Sciences, Assistant Professor, Head of Department, e-mail: zhuravleva_nv@zsic.ru,
*Potokina R.R.*[1], Leading Specialist, e-mail: potokina_rr@zsic.ru,
*Ismagilov Z.R.*, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Corresponding Member of Russian Academy of Sciences, Director of Institute of Coal Chemistry and Materials Science, Siberian Branch of the Russian Academy of Science, 650000, Kemerovo, Russia, e-mail: IsmagilovZR@iccms.sbras.ru,
[1] Department of Ecology, Chromatography and Oil Products, JSC West-Siberian Test Center, 654006, Novokuznetsk, Russia.

*The indirect and the direct methods for determination of the gas content of coal samples from boreholes of the Pechora coal basin (Vorkuta deposit, Russia) have been studied. To determine the gas content by indirect method special instrument was made which allows to define maximum gas-capacity at a pressure of 80 atm. Installation provides testing under temperature, pressure gas measured in the coal seam. A comparative analysis of the two methods for determining the gas content of coal seams was carried out. It was shown that the direct method is the most common, but the accuracy of the analysis depends on many factors: the rise time of the coal core to its sealing, quality of sealing canisters, timely delivery of samples to the laboratory. The advantage of indirect methods is the ability to conduct a series of analyzes on the same sample, drawn from the coal seam. Indirect method of determining the gas content of coal seams complements and refines the gas content obtained by the direct method. Qualitative and quantitative composition of the coal gases defined based of the methods on a combination of gas-liquid chromatography and gas adsorption.*

*Key words: natural coal, coal bed methane, indirect method, direct method, gas content, adsorption.*

### REFERENCES

1. *Prikaz Rostekhnadzora № 679 ot 01.12.2011 g. «Ob utverzhdenii Instruktsii po degazatsii ugol'nykh shakht»* (Order RTN N 679 of 01.12.2011 «On approval of the Instructions for degasification of coal mines».
2. *Instruktsiya po opredeleniyu i prognozu gazonosnosti ugol'nykh plastov i vmeshchayushchikh porod pri geologo-razvedochnykh rabotakh (utv. Predsedatelem GKZ SSSR 07.10.1977 g.)* (Instructions for determining the prognosis and gas-bearing coal seams and surrounding rocks in Exploration (app. Chairman of the USSR State Reserves Committee of 07.10.1977)), Moscow, Nedra, 1977, 96 p.
3. *Prirodnaya gazonosnost' ugol'nykh mestorozhdenii. Metody laboratornogo izucheniya. OST 41–01-276–87* (Natural gas content of coal deposits. Laboratory methods for the study. Industry standards 41–01-276–87), Rostov-on-Don, Rostaprint VNIGRIugol, 1988, 28 p.
4. *Gaz prirodnyi. Opredelenie sostava metodom gazovoi khromatografii s otsenkoi neopredelennosti. Chast' 7. Metodika vypolneniya izmerenii molyarnoi doli komponentov. GOST 31371.7–2008* (Natural gas – Determination of composition with defined uncertainty by gas chromatography. Part 7. Methods of measurement of the molar fractions of the components. State Standart 31371.7–2008), Moscow, Standartinform, 2009, 21 p.
5. Malyshev Yu.N., Trubetskoi K.N., Airuni A.T. *Fundamental'nye prikladnye metody resheniya problemy metana ugol'nykh plastov* (Fundamental and applied methods for the solution of coal bed methane problems), Moscow, Izd. Akademii gornykh nauk, 2000, 519 p.
6. *Gazonosnost' ugol'nykh basseinov i mestorozhdenii SSSR. T. 1. Ugol'nye basseiny i mestorozhdeniya evropeiskoi chasti SSSR* (Gas content of coal basins and deposits of the USSR. Vol. 1. coal basins and deposits of the European part of the USSR), Moscow, Nedra, 1979, 454 p.