

УДК 622.512

## АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ И КОЛЛЕКТОРСКИХ СВОЙСТВ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

### THE ANALYSIS OF THE FILTRATION AND RESERVOIR PROPERTIES OF COAL SEAMS

Бяков Максим Анатольевич<sup>1</sup>,  
заместитель главного геолога ОАО СУЭК-Кузбасс  
Byakov Maksim A.<sup>1</sup>, deputy chief geologist  
Ремезов Анатолий Владимирович<sup>2</sup>,  
доктор техн. наук, профессор, e-mail: lion742@mail.ru  
Remezov Anatoliy V.<sup>2</sup>,  
Dr. Sc. (Engineering), Professor

<sup>1</sup>ОАО "СУЭК-Кузбасс", Кемеровская область, Ленинск-Кузнецкий, ул. Васильева, д. 1

<sup>1</sup>OAO "SUEK-Kuzbass", Kemerovo Region, Leninsk-Kuznetsky, st. Vasilyeva, d. 1

<sup>2</sup>Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, 650000, Россия, ул. Весенняя, 28

<sup>2</sup>T. F. Gorbachev Kuzbass state technical university, 650000, Russia, St. Vesennyaya, 28

**Аннотация:** Авторы в своей статье кратко охарактеризовали закономерности фильтрации в трещино-пористой среде применительно к угольному пласту, обосновали коллекторские свойства углепородного массива, показали, что основным фактом, определяющим фильтрационную газопроницаемость углей, является эндогенная трещиноватость. Доказали, что чем больше трещиноватость углепородного массива, тем выше эффективность дегазации.

**Abstract:** The author in his article has briefly described the regularities of filtration in crack-porous medium in relation to coal seam, proved reservoir properties of coal-rock mass, showed that the main determinant of the filtration permeability of coal is an endogenous fracture. To have shown that the more fractured the rock mass is, the higher the efficiency of degassing.

**Ключевые слова:** Угольный пласт, трещиноватость, дегазация

**Keywords:** Coal seam, fracturing, degassing

Закономерности фильтрации в трещино-пористой среде в применении угольному пласту, прежде всего, определяются своеобразием физико-механических свойств угольного массива.

При анализе проницаемости угля необходимо различать зоны пласта, различающиеся своими фильтрационными свойствами: нарушенная призабойная зона и ненарушенная зона, условно подверженная влиянию горных работ, а также зоны пласта, разгруженные от горного давления путем наработки или подработки.

К коллекторским свойствам углепородного массива относится его способность накапливать, выделять и пропускать через себя газообразные вещества и различного рода флюиды.

Применительно к угольным пластам при ведении дегазационных работ решается задача извлечения метана, основанная на определении газоносности, газопроницаемости и склонности углей к газоотдаче.

В отношении метаносности угольных пластов можно констатировать, что к настоящему времени установлены основные закономерности

состояния и распределения метана в угольных отложениях, позволяющие достаточно надежно определить содержание газов при геологоразведочных работах и производить его прогноз на глубину и по площади.

Основными параметрами, характеризующими коллекторские свойства углепородного массива, являются газоемкость, проницаемость и характер насыщения. Основными факторами, определяющими содержание метана в угольных пластах, являются степень их метаморфизма и глубина залегания, обуславливающие сорбционные свойства угольного вещества и давление газов в порах и трещинах.

При проектировании дегазации угольного пласта необходимо определить и оценить следующие параметры и свойства: технологические (мощность, угол падения, нарушенность и др.), фильтрационные (пористость, пустотность, азимут и угол подобия основных и естественных трещин, их проницаемость и др.), физико-технические (плотность, прочностные характеристики и др.).

Диаметры молекул основных природных газон имеют размер порядка 0,2-4),6 нм.

В табл. 1 приведена классификация пор, основанная на характере проникновения через них флюидов (классификация 1).

В угле могут существовать большие пустоты диаметром свыше 1000 нм, которые целесообразно классифицировать по их генезису.

Основным фактором, определяющим фильтрационную газопроницаемость углей, является эндогенная трещиноватость. При этом главное значение имеют крупные, хорошо развитые трещины.

В табл. 1 приведена также классификация пор ископаемых углей, разработанная ИГД им. А. А.

С увеличением глубины разработки возрастает напряженное состояние углепородного массива, что приводит к повышению трещиноватости последнего. Это должно вести к возрастанию фильтрационных свойств углепородного массива, а тем самым - к повышению эффективности дегазационных работ. Однако, как показали проведенные на шахтах Кузбасса исследования, существуют аномальные участки со специфическим выделением метана. Так было замечено, что наибольшие значения эффективности дегазации наблюдались в интервале глубин 300-400 м по участкам, разрабатывающим угли всех марок от Г до Т, а при достижении максимума на указанной глубине этот показатель резко снижается в 2-3 раза. Поэтому

Таблица 1. Классификация пор и трещин угольных пластов  
Table 1. Classification of pores and cracks of coal seams

Диаметр пор, им	Классификация 1		Классификация 2	
	Класс пор или трещин	Характер проникновения	Класс пор	Характер движения газа в порах
0,4			Микропоры	Сорбция
0,7	Молекулярные поры	Сорбция		
1		Поверхностная диффузия	Переходные поры	Область капиллярной конденсации и диффузия газов
3	Фольмеровские поры			
10	Кнудсеновские поры	Кнудсеновская диффузия	Субмакропоры	Медленная ламинарная фильтрация газа
10 <sup>2</sup>	Микропоры или паузейлевые поры	Вязкое течение		
10 <sup>3</sup>				
10 <sup>5</sup>				
10 <sup>6</sup>			Видимые поры и трещины	Смешанные ламинарная и турбулентная фильтрация

Скочинского (классификация 2).

Преобладающей формой связи метана с углем является адсорбция, величина которой зависит не только от свойств сорбента, но и от условий сорбции, т. е. от давления, температуры, влажности и напряженного состояния угля. Что касается свойств сорбента, то помимо показателя выхода летучих (стадия метаморфизма угля) имеет значение степень зольности угля. Принято считать, что микропоры ( $D \leq 3$  нм) и частично переходные поры ( $D = 3-100$  нм) составляют основной коллектор сорбированного метана и являются сорбционным объемом.

Практика дегазационных работ подтвердила, что угли высоких стадий метаморфизма и низкометаморфизированные антрациты марок СС и А при наиболее высокой газоносности обладают газоотдачей более низкой, чем среднеметаморфизированные угли (Г).

вывод, кажущийся на первый взгляд парадоксальным, объясняется следующим образом.

По данным геологоразведки установлено, что газоносность угольных пластов на глубинах 400-600 м в Кузбассе стабилизируется, то есть практически не растет с глубиной, в то же время геостатическое давление продолжает нарастать, препятствуя разгрузке газового давления и образованию трещин, особенно по неразрабатываемым пластам-спутникам. В результате этого количество извлекаемого в процессе дегазации выработанного пространства и пластов-спутников газа резко сокращается.

Угольные пласты состоят из ряда различных микрокомпонентов – витринита, семивитринита, фюзенита, лейтенита, минеральных примесей и др. Соотношение их в углях различное. Главными компонентами, определяющими основные свойства углей, являются вотриниг и фюзенит. Эта микрокомпоненты различаются по сорбционным

способностям и кинетике газоотдачи, которые в той или иной степени проявляются в процессе дегазации углеродного массива.

Поскольку хрупкость углей зависит от их петрографического состава, то при обработке различных пластов угли также будут разрушаться по-разному, образуя сеть микротрещин, пронизываемых для метана.

Проведенными исследованиями на шахтах Кузбасса установлено, что на участках угольных пластов с содержанием витринита более 80 % доля извлекаемого газа в 2-4 раза выше, т. е. более эффективна и дегазация массива. Наиболее вероятной причиной (гунт) пилении предполагается способность витринитовых углей образовывать микротрещины при снятии геостатического давления в процессе обработки угольных пластов.

Из вышеизложенного следует, что чем больше трещиноватость углей и вмещающих пород, тем выше эффективность дегазации углеродного массива при обработке угольных пластов. Однако трещиноватость есть следствие геостатических свойств угля, и зависит от содержания витринита и степени метаморфизма углей. В связи с этим следует тщательно изучать генетическую природу углей на стадии геологоразведочных работ по kernovому материалу, отобранному при бурении скважин.

Рассмотрим в рамках теоретического обоснования закономерности фильтрации газа в углеродном массиве. В основу большинства математических исследований фильтрации газа в пористой среде положен закон, обнаруженный французским инженером Дарси в 1856 г. Этот закон устанавливает пропорциональность скорости фильтрации и проекции градиента давления к площади сечения пористой среды и запишется в общем виде:

$$V = \frac{k}{\mu} \nabla P$$

$$\nabla = i \frac{\partial}{\partial x} + j \frac{\partial}{\partial y} + k \frac{\partial}{\partial z}$$

или для турбулентного течения:

$$-\nabla \dot{A} = \frac{\mu}{K} V + \frac{\rho V}{l} V \quad (1)$$

где  $V$  — вектор скорости фильтрации, м/с;  $\mu$  - вязкость текучего (жидкость или газ), Па с;  $P$  - давление, Па;  $K$  - коэффициент пропорциональности, мД;  $\rho$  - плотность, кг/м<sup>3</sup>;  $l$  - коэффициент, имеющий размерность длины.

Так как основные фильтрационные процессы в разрабатываемом углеродном массиве происходят в промежуточных режимах фильтрации (ламинарное и турбулентное движение), то для анализа эффективности переноса газа принимается решение уравнения:

$$\frac{H}{L} = rV^n \quad (2)$$

где  $H$  - перепад давления, Па;  $L$  - длина участка фильтрации, м;  $r$  - удельное сопротивление массива, Па·с/м;  $n$  - степенной показатель.  $1 \leq n \leq 2$ .

Таким образом, если задан перепад давления на участке фильтрации  $L$ , то скорость фильтрации можно рассчитать по соотношению (2).

$$V = \left( \frac{H}{Lr} \right)^{1/n}$$

вводя обозначения  $m = 1/n$ ,  $1/2 < m < 1$ , получаем удельное сопротивление массива для произвольного режима фильтрации через удельное сопротивление, а также через показатель режима фильтрации:

$$r = \frac{2^{1/m} \cdot H}{L \left[ V \left( \frac{r_{\dot{e}}}{r_m} \right)^2 + L \frac{H}{Lr_{\dot{e}}} - \frac{r_{\dot{e}}}{r_m} \right]^{1/m}}, \quad (3)$$

где  $r_n$ ,  $r_m$  - удельное сопротивление массива соответственно при ламинарном и турбулентном движении текучего, Па с/м.

Приведенные зависимости показывают, что величина гидродинамического сопротивления массива движению газа существенно зависит от режима его фильтрации, в результате чего происходит изменение характера зависимости сопротивления от прямолинейного к криволинейному.

Практическое значение зависимостей (1.2) и (1.3) состоит в том, что учитывая режим фильтрации газа, скорость подвигания забоя, расстояние от очистного забоя до дегазационной скважины, проницаемость и пористость массива, а также состав газозооной смеси, можно управлять величиной газодинамического сопротивления выработанного пространства.

Для подтверждения полученных аналитических зависимостей выполнен комплекс лабораторных исследований по установлению основных фильтрационных и коллекторских свойств углей.

Исследования выполнены учеными МГГУ (г. Москва) совместно с ВНИГРИ (г. Санкт-Петербург) на установках института ВНИГРИ и интерпретированы согласно рекомендациям ВНИГРИ. Было отобрано по пять образцов угля по пластам Бреевский, Емельяновский и Толмачевский в дренажном уклоне № 173 (ш. Комсомолец) при изменении глубины горных работ от 370 до 535 м, по одной пробе из пластов Полысаевский-2 шахт Октябрьская и Чертинская и по три пробы образцов угля пластов XXIV, XXVI и XXVII шахты Первомайская.

Результаты исследований см. в табл. 2.

Визуальные наблюдения трещиноватости на шлифах показали наличие ярко выраженной основной системы открытых трещин. Наблюдаются

Таблица 2. Характеристика пористости, трещиноватости и проницаемости углей  
Table 2. Characterization of the porosity, fracturing and permeability of coals

Наименование пласта	Номер образца, (глубина)	Плотность открытых трещин, 1/м	Трещиновая пористость, доли	Трещинная проницаемость. $10^{-3}$ мкм <sup>2</sup>	Открытая пористость, %	K <sub>пр</sub> , мД, $10^{-3}$			P <sub>обж</sub> , 20-200, атм
						воздух	азот	метан	
Бреевский	1 (374)	45	0,05	5	2,02	13,2	12,75	18,4	11.2-12.1
	2 (389)	47	0,05	5	1,98	13,5	12,97	18,9	
	3 (408)	32	0,04	4	1,87	12,1	11,67	17,02	
	4(447)	20	0.03	3	2,00	14,0	13,44	19,6	
	5(462)	20	0,03	3	2,20	16,8	16,13	23.5	
Толмачевский	1 (435)	32	0,04	3	1,44	6,93	6,65	9,7	9,4-9,5
	2 (444)	30	0,04	3	1,82	11,54	11,04	16,1	
	3 (472)	31	0.04	3	1,77	10,85	10,42	15.2	
	4(506)	27	0.04	3	1,86	12,49	12,0	17,49	1
	5 (518)	29	0,04	3	1,50	7,5	7,3	10,3	
Емельяновский	1 (448)	38	0,04	3	1,32	15,6	15,38	12,84	7.7-12,84
	2(462)	40	0,04	3	1,88	15,2	14,6	21,28	
	3 (481)	28	0.03	2	1,72	10,03	9,63	14,04	
	4 (519)	27	0,03	2	1,68	9,76	9,37	13,66	
	5 (535)	19	0,02	2	1,45	6,7	6,43	9,38	
Полысаевский-2	1(295)	32	0.06	6	3.5	17,4	16,4	22,1	10,4
5	1(360)	25	0.03	3	1,7	10,6	8,2	13,1	9,4
XXTV	1(360)	26	0,03	3	1,82	9,3	4,7	10,4	11,2
	2(410)	19	0.03	3	1,79	9,1	5,1	9,2	11,2
	3(520)	15	0,02	2	1,09	8,7	5,0	9,2	11,2
XXVI	1(330)	24	0.03	2	1,74	8,2	3,9	8,7	11,3
	2(420)	17	0,02	2	1,61	8,8	3,8	8,4	11,2
	3(530)	15	0,02	2	1,02	8,4	3,4	8,3	11,2
XXVN	1(350)	19	0,02	2	1,34	7,9	3,9	5,1	11,2
	2(470)	13	0.02	1	1,42	7,1	3,6	5,1	11,2

также второстепенные системы трещин с хорошим раскрытием, заполненных минеральными включениями. В целом следует отметить очень низкую трещинную пористость и проницаемость углей с одной развитой системой открытых трещин.

В дальнейшем методом насыщения была определена открытая пористость (по 2-3 анализа на каждый образец) и рассчитана воздухопроницаемость углей, а затем по воздухопроницаемости - фазовая проницаемость углей для разных газов. Фазовая проницаемость азота и метана определялась по отношению к фазовой проницаемости по воздуху на основе сравнения вязкостей газов. Из данных табл. 2 следует, что угли пластов Бреевский, Толмачевский и Емельяновский на исследуемом участке различаются низкой проницаемостью в естественных условиях. Проницаемость образцов практически не зависит от давления обжаривания. В углях прослеживается явно выраженная одна система открытых трещин, второстепенная система заполнена минеральными включениями. Значение указанных характеристик на порядок ниже для пластов шахты «Первомайская».

Полученные результаты говорят о том, что необходимо выдвигать специфические требования

к обоснованию технологии и параметров дегазации углепородного массива, особенно с гидродинамическим воздействием на угольные пласты.

Эти требования обусловлены следующими факторами:

- угли указанных пластов обладают крайне низкой проницаемостью и пористостью в естественных условиях (в 2-3 раза ниже аналогичных условий Карагандинского бассейна);
- проницаемость углей практически не зависит от давления обжаривания;
- в углях прослеживается явно выраженная, с небольшим раскрытием, основная система трещин, второстепенная система заполнена минеральными включениями;
- процесс раскрытия трещин начинается при существенно повышенных давлениях.

#### Выводы

1. Основным фактором, определяющим фильтрационную газопроницаемость углей, является эндогенная трещиноватость.

2. Результаты аналитических и лабораторных исследований, а также шахтные замеры эффективности дегазации показывают, что извлечение метана из угольных пластов в условиях Кузбасса

имеет ряд особенностей, связанных с низкими значениями фильтрационных и коллекторских свойств углей

#### .СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ремезов А.В. Дегазация метаноносных угольных пластов и вмещающих пород на шахтах Кузбасса. История, действительность, будущее / А. В. Ремезов, В. Г. Харитонов [и др.]. – Кемерово, 2012. – ООО ПК Офсет
2. Пирогов С.Ю. Природный газ. Метан. Справочник / С. Ю. Пирогов, Л. А. Акулов [и др.]. – СП. : НПО Профессионал, 848 с.
3. Жаров А.И. Угольный метан и способы управления газовойделением в шахтах / А. И. Жаров, Н. Н. Красюк, А. В. Ремезов. – Кемерово: Кузбассвуиздат, 2006. – 87 с.
4. Мясников А.А., Управление газовойделением при разработке угольных пластов / А. И. Мясников, А. С. Рябченко, В. А. Сиучинов. – Москва : Недра, 1987. – 216 с.
5. Мурашов В.И. Механизм развязывания внезапных выбросов угля и газа в горных выработках // Основы теории внезапных выбросов угля, породы и газа. – Москва : Недра, 1978. – С. 141-162.
6. Мазикин В.П. Эффективность дегазации подрабатываемых пластов скважинами, пробуренными из сохранных выработок / В. П. Мазикин, С. С. Золотых, М. К. Сирош // Повышение безопасности на угольных предприятиях: Науч. тр. / ВОСТНИИ. – Кемерово, 1995.
7. Малышев Ю.Н. Фундаментально-прикладные методы решения проблемы метана угольных пластов. / Ю. Н. Малышев, К. Н. Трубецкой, А. Т. Айруни – Москва : Издательство Академии горных наук, 2000. – 519 с.
8. Малышев Ю.Н. Новые высокоэффективные технологии предварительной дегазации разрабатываемых угольных пластов. Современные проблемы шахтного метана (Сборник научных трудов к 70-летию проф. Н. В. Ножкина) / Ю. Н. Малышев, И. В. Зверев, А. Т. Айруни – Москва : МГГУ, 1999.
9. Николин В.И. Представления (гипотеза) о природе и механизме выбросов угля, породы и газа. – Макеевка: МакНИИ, 1976.
10. Петросян А.Э. Теория внезапных выбросов угля и газа. / А. Э. Петросян, Б. М. Иванов, В. Г. Крупеня – Москва : Наука, 1983.
11. Пузырев В.Н. Совершенствование метода прогноза выбросоопасных и неопасных зон по газовойделению из шпуров / В. Н. Пузырев, Н. Г. Вершинин // Борьба с газом и внезапными выбросами в угольных шахтах: Сб. науч. тр. / ВостНИИ. – Кемерово, 1975. – Т. 24.
12. Пучков Л.А. Технология отработки газообильных участков шахтных полей с добычей и утилизацией метана. – Москва : МГГУ, 1995. – 122 с.
13. Пудак В.В. Дегазация углепородного массива направленными скважинами, пробуренными с поверхности / Московский государственный горный университет. – Москва : ИАЦ ГН, 1993.
14. Ржевский В.В. Управление свойствами и состоянием угольных пластов с целью борьбы с основными опасностями в шахтах. / В. В. Ржевский, Б. Ф. Братченко, А. С. Бурчаков, Н. В. Ножкин – Москва : Недра, 1984. – 327 с.
15. Скочинский А.А. Совершенствование методов борьбы с внезапными выбросами угля и газа в угольных шахтах: Отчет / А. А. Скочинский, Г. Д. Лидин, В. В. Ходот и др. // ИГД АН СССР. – Москва, 1955. – 322 с.
16. Ходот В.В. Внезапные выбросы угля и газа. – Москва : Госгортехиздат, 1961.
17. Эттингер И.Л. Внезапные выбросы угля и газа и структура угля. – Москва : Недра, 1969. – 256 с.

#### REFERANCES

1. Remezov A.V. Degazacija metanonosnyh ugol'nyh plastov i vmeshhajushhih porod na shahtah Kuzbassa. Istorija, dejstvitel'nost', budushhee / A. V. Remezov, V. G. Hari-tonov [i dr.]. – Kemerovo, 2012. – ООО ПК Офсет (rus)
2. Pirogov S.Ju. Prirodnyj gaz. Metan. Spravochnik / S. Ju. Pirogov, L. A. Akulov [i dr.]. – SP. : NPO Professional, 848 p.
3. Zharov A.I. Ugol'nyj metan i sposoby upravlenija gazovydeleniem v shahtah / A. I. Zharov, N. N. Krasjuk. A. V. Remezov. – Kemerovo: Kuzbassvuzizdat, 2006. – 87 p. (rus)
4. Mjasnikov A.A., Upravlenie gazovydeleniem pri razrabotke ugol'nyh pla-stov / A. I. Mjasnikov, A. S. Rjabchenko, V. A. Siuchinov. – Moskva : Nedra, 1987. – 216 p.
5. Murashov V.I. Mehanizm razvjazyvanija vnezapnyh vybrosov uglja i gaza v gornyh vyrabotkah // Osnovy teorii vnezapnyh vybrosov uglja, porody i gaza. – Mo-skva : Nedra, 1978. – P. 141-162.

6. Mazikin V.P. Jeffektivnost' degazacii podrabatyvaemyh plastov skvazhi-nami, proburennymi iz sohranennyh vyrabotok / V. P. Mazikin, S. S. Zolotyh, M. K. Sirosh // Povyshenie bezopasnosti na ugol'nyh predpriyatijah: Nauch. tr. / VOSTNII. – Kemerovo, 1995. (rus)
7. Malyshev Ju.N. Fundamental'no-prikladnye metody reshenija problemy metana ugol'nyh plastov. / Ju. N. Malyshev, K. N. Trubeckoj, A. T. Ajruni – Moskva : Izdatel'stvo Akademii gornyh nauk, 2000. – 519 p. (rus)
8. Malyshev Ju.N. Fundamental'no-prikladnye metody reshenija problemy metana ugol'nyh plastov. / Ju. N. Malyshev, K. N. Trubeckoj, A. T. Ajruni – Moskva : Izdatel'stvo Akademii gornyh nauk, 2000. – 519 p. (rus)
9. Nikolin V.I. Predstavlenija (gipoteza) o prirode i mehanizme vybrosov uglja, porody i gaza. – Makeevka: MakNII, 1976. 305 p. (rus)
10. Petrosjan A.Je. Teorija vnezapnyh vybrosov uglja i gaza. / A. Je. Petrosjan, B. M. Ivanov, V. G. Krupenja – Moskva : Nauka, 1983. 126 p. (rus)
11. Puzyrev V.N. Sovershenstvovanie metoda prognoza vybrosoopasnyh i ne-opasnyh zon po gazovydeleniju iz shpurov / V. N. Puzyrev, N. G. Vershinin // Bor'ba s gazom i vnezapnymi vybrosami v ugol'nyh shahtah: Sb. nauch. tr. / VostNII. – Kemerovo, 1975. – T. 24. (rus)
12. Puchkov L.A. Tehnologija otrabotki gazoobil'nyh uchastkov shahtnyh polej s dobychej i utilizaciej metana. – Moskva : MGGU, 1995. – 122 p. (rus)
13. Pudak V.V. Degazacija ugleporodnogo massiva napravlennymi skvazhinami, proburennymi s povernosti / Moskovskij gosudarstvennyj gornyj universitet. – Moskva : IAC GN, 1993. 301 p. (rus)
14. Rzhetskij V.V. Upravlenie svojstvami i sostojaniem ugol'nyh plastov s ce-l'ju bor'by s osnovnymi opasnostjami v shahtah. / V. V. Rzhetskij, B. F. Bratchenko, A. S. Burchakov, N. V. Nozhkin – Moskva : Nedra, 1984. – 327 p. (rus)
15. Skochinskij A.A. Sovershenstvovanie metodov bor'by s vnezapnymi vybrosami uglja i gaza v ugol'nyh shahtah: Otchet / A. A. Skochinskij, G. D. Lidin, V. V. Hodot i dr. // IGD AN SSSR. – Moskva, 1955. – 322 p. (rus)
16. Hodot V.V. Vnezapnye vybrosy uglja i gaza. – Moskva : Gosgortehizdat, 1961.
17. Jettinger I.L. Vnezapnye vybrosy uglja i gaza i struktura uglja. – Moskva : Nedra, 1969. – 25 p. (rus)

Поступило в редакцию 20.04.2016  
Received 20 April 2016