



УДК 553.98

МЕТАНОУГОЛЬНЫЕ БАССЕЙНЫ И МЕСТОРОЖДЕНИЯ РОССИИ. ПУТИ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ ДОБЫЧИ МЕТАНА ИЗ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

М.В.Голицын, А.Х.Богомолов, В.И.Вялов, В.А.Зайцев, Е.Ю.Макарова, Д.В.Митронов, Н.В.Пронина (Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова), **А.Г.Черников** (ООО "Научно-исследовательский институт природных газов и технологий - Газпром ВНИИГАЗ")

Россия, обладая огромными ресурсами угля, приступает к самостоятельной добыче метана угольных пластов. Статья посвящена решению проблем его добычи. На примере Талдинского месторождения показана значимость трещиноватости и фильтрационных параметров угольных пластов. Предложены новые методы прогноза и выделения зон повышенной проницаемости и газоотдачи углей, а также направления дальнейших исследований.

Ключевые слова: метан; угольные пласты; метанугольные бассейны; трещиноватость; моделирование.

В связи с истощением ресурсной базы УВ, высокими темпами роста спроса и цен на них, все большее внимание во всем мире уделяется нетрадиционным источникам УВ, вследствие успехов их освоения в США. К нетрадиционным ресурсам газового сырья относят скопления УВ-газов в угольных и сланцевых формациях, плотных коллекторах (песчаниках и карбонатных породах), а также газогидратные залежи. Среди них наиболее доступными для освоения являются ресурсы метана угольных пластов. Метан представляет собой сопутствующий компонент углей, а объективными предпосылками его добычи являются широкое распространение угленосных отложений, значительные ресурсы газа в угленосных формациях, наличие технологий его извлечения и использования.

На территории России имеется целый ряд крупных угольных бассейнов и многочисленных месторождений широкого возрастного диапазона, с геоструктурным разнообразием угленосных отложений и различным характером угленосности. Угли характеризуются различием марочного состава, химико-технологических свойств (рис. 1). В 50-х гг. XX в. исследования газоносности при разведке угольных месторождений стали обязательными в качестве самостоятельного направления [1] (таблица).

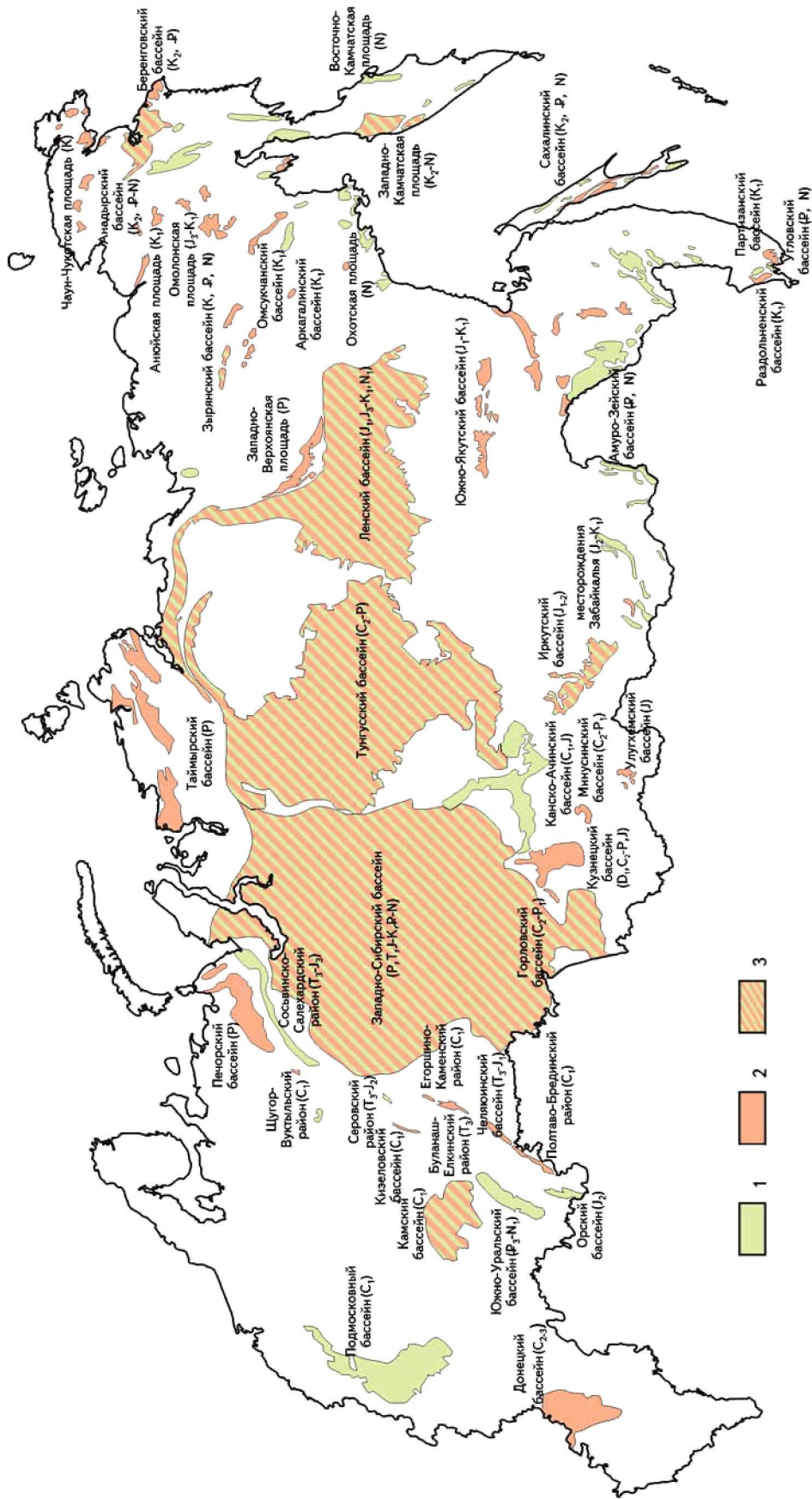
На кафедре геологии и геохимии горючих ископаемых геологического факультета МГУ им. М.В.Ломоносова изучение угольных бассейнов России и мира проводят более 60 лет. В 1988 г. начались исследования по проблеме угленефтегазоносности осадочных бассейнов, основными целями которой являются обобщение

отечественных и зарубежных материалов по оценке ресурсов газов в угольных пластах и определение оптимальных направлений разведки, добычи и их использования, особенно в районах, удаленных от главных месторождений традиционного газа.

В настоящее время угольные бассейны следует рассматривать как метанугольные, подлежащие комплексному освоению, где добыча газа экономически рентабельна не только с точки зрения обеспечения безопасности горных работ и увеличения объемов угледобычи, но и в качестве источника получения дополнительного, экологически чистого энергетического сырья (метана) [2]. Метанугольные месторождения являются перспективными для создания и развития метанодобывающей отрасли, на которых, помимо угля, осуществляется добыча газа в качестве попутного или самостоятельного полезного ископаемого. Новый подход к изучению угольных бассейнов и месторождений в качестве метанугольных требует обобщения, более глубокого и всестороннего анализа результатов исследований газоносности не только углей, но и пород угленосной толщи, включающих скопления свободного газа.

В отношении перспектив развития добычи метана из угольных пластов существует два полярных мнения. Часть исследователей считает, что добыча метана из угольных пластов, неразгруженных горными работами, в настоящее время экономически нецелесообразна. Добыча метана должна производиться только в процессе дегазации шахт в основном для создания безопасных условий работы шахтеров. Это мнение основано на представлении о том, что условия добычи метана в бас-

Рис. 1. РАЗМЕЩЕНИЕ УГЛЕННЫХ БАСЕЙНОВ, РАЙОНОВ И ПЛОЩАДЕЙ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ (по материалам [6])



Бассейны: 1 – с бурыми углями, 2 – с каменными углями, 3 – с бурыми и каменными углями

Краткая характеристика угленосности и газоносности

Бассейны и угленосная формация	Геологический возраст угленосной формации	Площадь распространения, тыс. км ²	Мощность угленосных отложений, м	Число угольных пластов	
				общее (до)	рабочих (до)
Восточный Донбасс	C ₂	30	До 8000	200	3-20
Подмосковный	C _{1v}	120*	10-180	25	2
Печорский	P ₁₋₂	90	1700-5600	270	60
Кизеловский	C _{1v}	20	50-250	20	5
Челябинский	T ₃ -J ₁	1,3	1600-3700	75	60
Южноуральский	P ₃	24	До 300	4	3
Западно-Сибирский	C-N	2600	До 8000	?	До 80
Сосьвинско-Салехардский	T ₃ -K ₁	20	До 300	20	1-10
Кузнецкий	C ₁ -J ₃	26,7			
балахонская	C ₁ ³ - P ₁	6,5	90-2200	23-119	7-60
кольчугинская	P ₂	13,6	3500-4000	92-220	47-70
юрская	T ₃ -J ₃	5,8	До 1880	7-17	4-7
Горловский	C ₂ ³ - P ₁	0,46	До 1000	35	18
Минусинский	C _{1п} -P ₁	8,1	До 2000	80	6-40
Тунгусский	C _{1п} -P ₂	1045	300-1800	100	27
Таймырский	P ₁₋₂	> 80	До 3800	30	20
Канско-Ачинский	J ₁₋₂	50	200-1100	54	30
Иркутский	J ₁₋₂	43	70-600	65	1-25
Улукемский	J ₁₋₂	2,1	До 1500	57	10
Ленский	J ₃ -K ₁	600	До 7000	150	50
	P				20
Южно-Якутский	J ₂ -K ₁	25	400-5000	75	10
Буреинский	J ₃ -K ₁	6	До 2500	47	30
Партизанский	K ₁	4	До 1150	38	23
Раздольненский	K ₁	4,5	155-450	6	3
Амуру-Зейский	K ₁ -N ₁	60*	1800-2200	25	16
Зырянский	K ₁	2	До 7500	120	80
Угловский	P ₂₋₃	0,5	До 500	33	10
Сахалинский	K ₂ -N ₁	5,8	200-9000	145	80

* В связи со слабой геологической изученностью этих бассейнов, оценка количества метана в угольных пластах

сейне Сан-Хуан являются уникальными, а в остальных "обычных", бассейнах США его добыча ведется в ограниченных масштабах и связана со многими технологическими и экономическими трудностями [4].

Мнение о том, что при самостоятельной добыче газа в неразгруженных горными работами массивах газоотдача во много раз ниже и уникальность бассейна Сан-Хуан, опровергается опытом добычи метана угольных пластов в США и других странах. С самого начала изучения возможностей промышленной добычи метана угольных пластов применение инновационных технологий позволило сделать этот процесс экономически выгодным способом добычи природного газа. Американские специалисты рекомендуют уже на самом раннем этапе реализации проектов по самостоятельной добыче метана собирать максимально возможный объем геологической информации о строении месторождений,

сорбционно-диффузионных и фильтрационно-емкостных свойствах углей и угольных пластов, а также широко использовать методы моделирования; на основе этих данных подбирают и оптимизируют технологии добычи [6, 7]. Именно таким образом развивалась промышленная добыча метана в угольных бассейнах США, в начале в бассейне Блек-Варриор, затем основным бассейном стал Сан-Хуан. Только в течение последних нескольких лет лидирующие позиции по добыче метана занял бассейн Паудер-Ривер (рис. 2).

Вторую точку зрения разделяет большинство специалистов стран СНГ, в первую очередь России, Казахстана и Украины, которые считают, что настало время широко осваивать углегазовые бассейны и месторождения, как это делают в США, Канаде, Австралии и

основных угленосных бассейнов России (по материалам [1, 2, 5] с дополнениями)

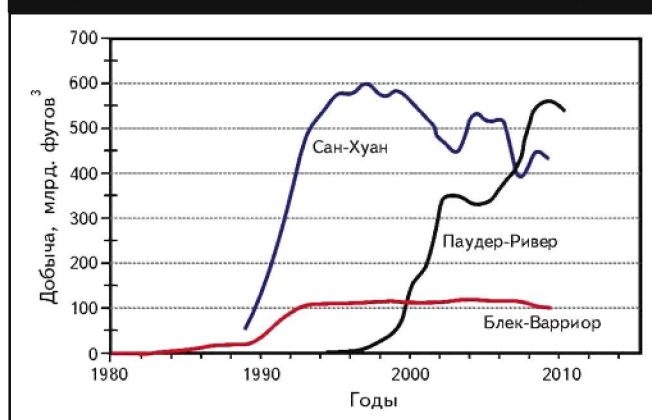
Прогнозные ресурсы угля (включая разведанные запасы), млрд т	Углеплотность разведанных месторождений, млн т/км ²	Марочный состав углей	Метаноносность, м ³ /т угля	Ресурсы метана, млрд м ³
20,1	—	БЗ-А	До 28	97
6,2	0,08-3,00	Б2	?	?
235,0	2-4	Б-А	До 33	1942
0,3	0,5-4,0	Г, ГЖ	До 32	3
0,44	От 3-10 до 150	Б3	До 9 *	> 2
1,2	8-30	Б1	?	?
3300	?	1Б-А	До 20	33000
7,97	—	Б2-Б3	?	?
615	—	—	До 35	13100
—	18-30	ГЖ-А	—	—
—	20-28	Д-Ж	—	—
—	—	Б, Д	—	—
6,8	16-42	А	До 23	50
22,1	6-12	Д, Г	До 10 *	50
1486,0	20-45	Д-А	До 30	20000
185,0	—	Ж-А	?	4000
446,0	14-25 (до 65)	Б1, Б2, Г	> 5 *	5 (?)
13,5	3-10	Б-Д	?	?
19,5	До 9	Г, КЖ	> 5 *	40
836,5	5-16	2Б-К	5	3000
700	-	Г-А	15	7000
46,2	5-27	Г-Т	До 25*	920
9,7	10	Г	До 18	105
1,5	3-5	Д-Т	До 20	22
0,5	3-5	Д	?	?
42,3	—	Б1-Т	?	?
29,2	—	Д-К	> 15	99
1,1	4-5	Б3	До 12	1
14,1	До 7	Б3-Т	До 22	40

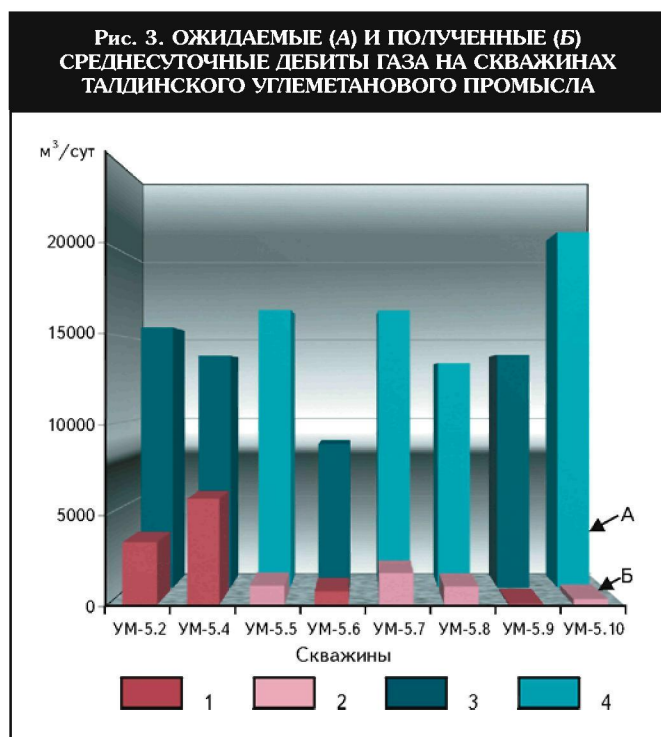
имеет ориентировочный характер.

ряде других стран. Метан должен добываться не только в процессе дегазации действующих шахт, но и на участках, не освоенных угольной промышленностью. Подобные работы особенно актуальны в районах, удаленных от месторождений природного газа и магистральных газопроводов.

К числу наиболее изученных с точки зрения газоносности отложений относятся Кузнецкий, Печорский бассейны и Восточный Донбасс. Ресурсы метана, сосредоточенного в угленосных свитах Восточного Донбасса, составляют 97 млрд м³, Печорского бассейна — 1,942 трлн м³, Кузбасса — 13,1 трлн м³. Но даже на этих хорошо изученных площадях запасы метана угольных пластов достоверно не оценены и не учтены, а его промышленная добыча находится в начальной стадии [1, 2].

Рис. 2. ОБЪЕМЫ ДОБЫЧИ МЕТАНА УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ В БАСЕЙНАХ САН-ХУАН (San Juan), БЛЕК-ВАРРИОР (Black Warrior) И ПАУДЕР-РИВЕР (Powder River) [6]





Группа пластов: 1, 3 – верхняя, 2, 4 – нижняя

Россия, обладая солидными ресурсами угольного метана (около 83 трлн м³), только с конца 2009 г. приступила к созданию своего метаноугольного промысла. На данный момент отечественный опыт самостоятельной добычи угольного метана ограничивается лишь двумя десятками разведочных скважин, пробуренных на Талдинской и Нарыкско-Осташкинской площадях (Южный Кузбасс). Наиболее оборудованным является Талдинский промысел. Здесь более 3 лет ведется пробная промышленная эксплуатация 8 углеметановых скважин. В каждой скважине методом гидроразрыва было стимулировано по 5-6 угольных пластов. В половине скважин добыча ведется в верхней части угольного разреза (пласты 51-57), в другой – в нижней (пласты 39-50). К настоящему моменту накопилась обширная информация по эксплуатации этих скважин, что позволило сделать ряд определенных выводов [3].

Во-первых, ожидаемые и полученные среднесуточные дебиты скважин сильно различаются (рис. 3). Это свидетельствует о том, что данные, использованные при прогнозе добычных возможностей углеметановых скважин, были недостаточными. Ожидаемые дебиты рассчитывались, исходя из количества угля, содержания в нем сорбированного метана и коэффициента извлечения газа, равного 0,4. Очевидно, что существуют факторы, которые определяют способность угля к газоотдаче, и их необходимо также принимать во внимание.

Во-вторых, верхняя группа пластов характеризуется в 2-3 раза большими дебитами, чем нижняя, что сви-

детельствует о необходимости учета литостатического давления. Важно отметить, что полученное распределение дебитов по скважинам не зависит ни от мощности угольных пластов, ни от их газоносности. Это следует из сопоставления ожидаемых дебитов метана с реально полученными, например максимальное количество метана содержится в скв. УМ-5.10, а реальные дебиты у этой скважины – минимальные.

В-третьих, величина проницаемости угольных пластов обуславливает дебит добывающих скважин, т.е. является величиной, определяющей коэффициент извлекаемости газа из угольных пластов. Выявлена прямая зависимость между проницаемостью и дебитом угольных скважин.

В-четвертых, установлена тектоническая (структурная) приуроченность мест, благоприятных и неблагоприятных для добычи метана из угольных пластов. Минимальные дебиты приурочены к лежащему крылу небольшого разрывного нарушения, выявленного с помощью разрезов, построенных по углеразведочным скважинам, в то время как максимальные – расположены в ви-сечем, наиболее активном крыле данного разлома.

Таким образом, объемы добычи метана зависят не столько от количества угля и объема сорбированного в нем метана, сколько от фильтрационных параметров пластов, которые, в свою очередь, определяются структурно-геодинамическим состоянием горного массива. Количество метана, который добывается скважиной из угольного пласта, зависит от размера десорбционной воронки, формирующейся вокруг скважины, а размер воронки зависит от фильтрационных свойств угля и геологической структуры угольного пласта. Поэтому на ранних стадиях изучения месторождений одной из задач является выявление зон и площадей с повышенной проницаемостью и газоотдачей углей.

Сотрудники геологического факультета МГУ им. М.В.Ломоносова разрабатывают современный комплекс методов определения наличия наиболее проницаемых для угольного метана зон. Новые методы включают в себя как традиционные методики изучения, так и инновационные, такие как:

- углепетрографические, геохимические, рентгеновские, термобарогеохимические методы выделения зон, перспективных по метаногенерации и коллекторским свойствам;

- математическое моделирование литостатического давления и напряженно-деформированного состояния углепородного массива;

- комплекс тектонофизических, геоморфологических и некоторых геофизических методов для выявления новейших структур и определения ориентировки тектонических напряжений;

- дистанционное зондирование, выполненное с радарных спутников нового поколения, позволяющее по-

лучать информацию о медленных современных движениях земной поверхности и делать расчеты современного напряженного состояния массива;

методы изучения газовых эманаций для выявления наиболее проницаемых зон исследуемого массива на поверхности.

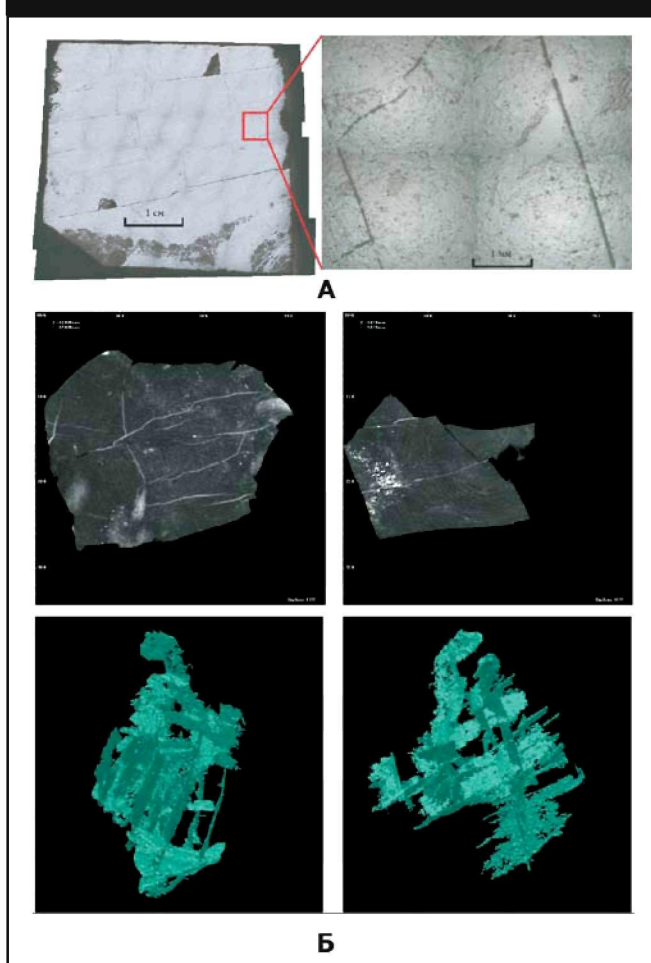
Хорошо развитые системы макро-, мезо- и микро-трещин играют главную роль в полной проницаемости угольных пластов, в том числе за счет уменьшения времени диффузии газов через угольную матрицу. Характер трещиноватости угольного пласта зависит от эндогенных и экзогенных факторов. Для характеристики трещиноватости угля на микроуровне и выделения зон, перспективных по метаногенерации, и были разработаны методики отбора и подготовки штучков угля и комплексного (минералого-петрографическими, углепетрографическими, рентгеновскими и др. методами) изучения коллекторских свойств. С этой целью в лабораториях геологического факультета проведены исследования углей различных стадий метаморфизма из разных угольных бассейнов (рис. 4).

В отличие от первичных трещин, тектонические трещины характеризуются различной ориентировкой, которая связана с тектоническим строением и структурно-геодинамическим состоянием горного массива. Выявление и прогноз площадей с повышенной проницаемостью и газоотдачей углей предлагается проводить на основании изучения напряженного состояния угольного пласта за счет суммарного воздействия многих физико-механических сил: собственной массы пород, тектонических сил различного направления, внутреннего давления насыщающих флюидов и др. (рис. 5).

Реконструкция напряженно-деформированного состояния горного массива (пространственное распределение осей эллипсоида напряжений и зон пригрузки и разгрузки) имеет первостепенное значение для прогноза проницаемости угольных пластов. Именно этот параметр связан со степенью раскрытости трещин, а следовательно, оказывает непосредственное влияние на проницаемость угля.

В результате объединения моделей бокового сжатия и литостатического давления была получена основа для создания 3D-модели проницаемости углепородного массива Талдинской площади. В качестве исходных данных для ее создания были использованы следующие параметры: 3D-куб расчетов величины максимальных напряжений, 3D-куб расчетов литостатического давления и данные по замерам проницаемости на скважинах. Для наиболее успешной добычи метана необходимо расположение скважины в зоне максимальных деформаций. 3D-геодинамическое моделирование позволило выявить блоки с высокими коэффициентами газоотдачи метана из угольных пластов. Отметим, что недоучет этого параметра может привести к необосно-

Рис. 4. ПРИМЕР ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТРЕЩИНОВАТОСТИ УГЛЕЙ МИКРОСКОПИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

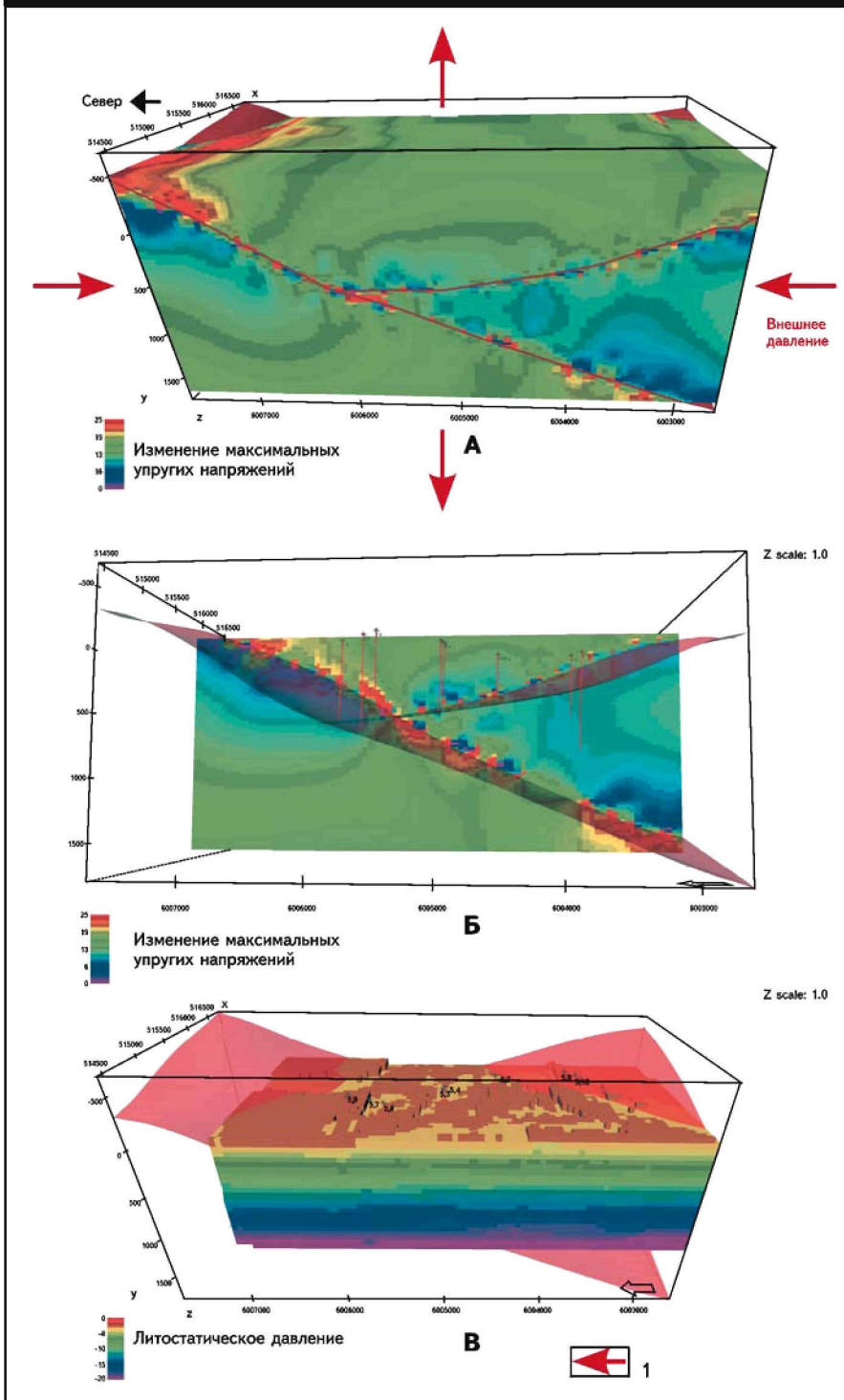


А – оптические методы, Кузнецкий бассейн, шахта Распадская, марка Ж, Б – рентгеновская микротомография, бассейн Циньшуй (Китай), марка А

ванно завышенным ожидаемым дебитам метана на месторождениях. Оценка проницаемости необходима для выбора оптимального расположения добывающих скважин на промыслах (чем выше значение проницаемости, тем больше должна быть оптимальная дистанция между скважинами). Структурно-тектонический анализ территории промысла позволит не расходовать средства на заведомо низкорентабельных участках. Угольные пласты с низкими значениями проницаемости вообще не должны вовлекаться в промысел, поскольку они не позволят окупить затраты на их подготовку к эксплуатации и могут оказывать отрицательное воздействие на формирование десорбционной воронки в соседних пластах.

Такие характеристики, как угленосность и метаносность углей, не являются надежной предпосылкой для рентабельного извлечения метана из угольных пластов. При широком распространении метаноугольных

Рис. 5. МОДЕЛЬ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ТАЛДИНСКОЙ ПЛОШАДИ



А – куб значений напряженного состояния Талдинской площади, Б – субмеридиональный разрез и местоположение добывающих скважин, В – куб значений литостатического давления; 1 – ориентировка приложенной нагрузки

ранних стадиях геологического изучения выделять такие участки.

Таким образом, ресурсный потенциал метана в угленосных формациях изучен недостаточно. Предлагаемые методы выделения проницаемых для метана коллекторов в угольных пластах и вмещающих породах на основе исследований вещественного состава, структуры и свойств угольных пластов, 3D-моделей напряженного состояния углелесного массива дают возможность наметить некоторые направления дальнейших исследований, опираясь на: проведение бассейнового анализа с типизацией метаноугольных бассейнов на основе геологических факторов, определяющих и контролирующих потенциал генерации УВ, их сохранность и современное распределение в осадочных формациях, а также установление природы и масштабов развития процессов УВ-флюидизации;

изучение вещественного состава углей, петрофизических и фильтрационно-емкостных свойств угольных пластов с использованием современных методов исследования (оптическая и люминесцентная микроскопия, рентгеновская микротомография и др.) с целью выявления корреляционных связей;

внедрение современных компьютерных технологий (геологическое, гидродинамическое и др. моделирование) для прогноза и выделения проницаемых зон угольных пластов и перспективных для добычи метана участков нераспределенного фонда в угольных бассейнах.

Как отмечалось, решение проблем добычи метана из угольных пластов возможно только с применением инновационных технологий. Только комплексный подход с учетом геологических, технологических, экономических, социальных и правовых аспектов позволит

бассейнов в них важно выделить участки как объекты газодобычи, потенциально привлекательные с экономических позиций. Предлагаемые методики позволяют на

решить проблему организации метаноугольных промыслов и добычи метана из угольных пластов в угленосных бассейнах. Учитывая весьма высокую слож-

ность проблемы добычи метана из угольных пластов, представляется крайне важным объединение усилий ученых разных организаций и ведомств для решения таких вопросов как:

разработка рекомендаций по критериям геолого-экономической оценки метаноугольных месторождений;

разработка методики подсчета и учета извлекаемых запасов угольного метана;

разработка рекомендаций по лицензированию на угольный метан;

изучение экологических проблем, которые могут возникнуть при добыче метана из угольных пластов.

Литература

1. **Газоносность** угольных месторождений СССР. Т. 1-3 / Под ред. А.И.Кравцова. — М.: Недра, 1979-1980.
2. **Голицын М.В.** Газоугольные бассейны России и мира / М.В.Голицын, А.М.Голицын, Н.В.Пронина и др. — М., 2002.
3. **Дмитриевская Т.В.** Проблемы добычи метана из угольных пластов и новейшая геодинамика на примере Талдинского месторождения (Южный Кузбасс) / Т.В.Дмитриевская, С.Г.Рябухина, В.А.Зайцев // Геология нефти и газа. — 2012. — № 4.
4. **Пучков Л.А.** Реальность промышленной добычи метана из неразгруженных пластов. — М.: Изд-во Моск. гос. горн. ун-та, 1996.
5. **Угольная база** России. Т. 1–6 / Под ред. В.Ф.Череповского. — М., ЗАО “Геоинформмарк”, 1997-2004.
6. **Moore T.A.** Coalbed methane: A review // International Journal of Coal Geology. — 101.
7. **Saulsberry J.L.** A Guide to Coalbed Methane Reservoir Engineering / Eds.: J.L.Saulsberry, P.S.Schafer, R.A.Schraufnagel. — Gas Research Institute, Chicago, Illinois, 1996.

© Коллектив авторов, 2013

Михаил Владимирович Голицын,
доктор геолого-минералогических наук,
профессор,
nvprncl@geol.msu.ru;

Александр Христофорович Богомолов,
доцент,
кандидат геолого-минералогических наук,
nvprncl@geol.msu.ru;

METHANE COAL BASINS AND FIELDS OF RUSSIA. WAYS OF SOLVING PROBLEMS OF METHANE PRODUCTION FROM COAL SEAMS

Golitsyn M.V., Bogomolov A.Kh., Vyalov V.I., Zaitsev V.A., Makarova E.Yu., Mitronov D.V., Pronina N.V. (Lomonosov Moscow state university),
Chernikov A.G. (ООО“Research institute of natural gases and technologies - Gazprom VNIIGAZ”)

Russia having huge coal resources is proceeding to independent methane production of coal seams. The article is devoted to solving problems of its production. With reference to Taldinsky field is shown a significance of fracturing and filtration parameters of coal seams. In the article are suggested new methods of prognosis and determination of zones with increased permeability and gas recovery of coals as well as trends of further studies.

Key words: methane; coal seams; methane coal basins; fracturing; modeling.

Владимир Ильич Вялов,
профессор,
доктор геолого-минералогических наук,
nvprncl@geol.msu.ru;

Владимир Александрович Зайцев,
ведущий научный сотрудник,
кандидат геолого-минералогических наук,
nvprncl@geol.msu.ru;

Елена Юрьевна Макарова,
старший научный сотрудник,
кандидат геолого-минералогических наук,
nvprncl@geol.msu.ru;

Дмитрий Валентинович Митронов,
инженер II категории,
кандидат геолого-минералогических наук,
nvprncl@geol.msu.ru;

Наталья Владимировна Пронина,
доцент,
кандидат геолого-минералогических наук,
nvprncl@geol.msu.ru;

Александр Георгиевич Черников,
ведущий научный сотрудник,
кандидат геолого-минералогических наук,
nvprncl@geol.msu.ru.