ПРОБЛЕМЫ ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ОСВОЕНИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НЕФТИ И ГАЗА, ИХ ХРАНЕНИИ И ТРАНСПОРТИРОВКЕ

PROBLEMS IN GEODYNAMIC AND ECOLOGICAL SAFETY IN THE EXPLORATION OF FIELDS OF OIL AND DAS, THEIR STORAGE AND TRANSPORTATION

УДК 622.324.5

Н.М.СТОРОНСКИЙ, *канд. физ.-мат. наук, зам. ген. директора, тел.* (*498*) *617-00-57*
В.Т.ХРЮКИН, *канд. геол.-минерал. наук, зав. отделом проблем освоения метаноугольных месторождений* (*498*) *617-00-18*
Е.В.ШВАЧКО, *зав. лабораторией геологии и геолого-промысловых исследований метаноугольных месторождений, тел.* (*498*) *617-00-53*
А.Н.ВАСИЛЬЕВ, *ведущий инженер, тел.* (*498*) *617-00-56*
А.В.КИРИЛЬЧЕНКО, *ведущий инженер, тел.* (*498*) *617-00-67*
Н.С.МАЛИНИНА, *ст. науч. сотрудник, тел.* (*498*) *617-00-53*
Д.В.МИТРОНОВ, *канд. геол.-минерал. наук, зав. сектором геологии и подсчета запасов метана, тел.* (*498*) *617-00-67*
ОАО «Газпром промгаз» (*г.Видное*)

N.M.STORONSKY, *PhD in phys.& math. sc., deputy general director, tel.* (*498*) *617-00-57*
V.T.KHRYUKIN, *PhD in geol. & min. sc., head of department coalbed methane, tel.* (*498*) *617-00-18*
E.V.SHVACHKO, *head of lab. of geology and coalbed methane, tel.* (*498*) *617-00-53*
A.N.VASILIEV, *leading engineer, tel.* (*498*) *617-00-56*
A.V.KIRILCHENKO, *leading engineer, tel.* (*498*) *617-00-67*
N.S.MALININA, *senior research assistant, tel.* (*498*) *617-00-53*
D.V.MITRONOV, *PhD in geol. & min. sc., head of sector of geology and methane reserves, tel.* (*498*) *617-00-67*
Gasprom promgas Co (*Vidnoe*)

ТИПИЗАЦИЯ МЕТАНОУГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КУЗБАССА ПО ПЕРСПЕКТИВАМ ДОБЫЧИ МЕТАНА С ПРИМЕНЕНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ГАЗООТДАЧИ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

На основе анализа зарубежного опыта разработки метаноугольных месторождений с различными горно-геологическими условиями специалистами ОАО «Газпром промгаз» разработаны рекомендации целесообразности применения различных методов интенсификации газоотдачи угольных пластов для различных типов метаноугольных месторождений, которые позволят уменьшить число эксплуатационных скважин и увеличить степень извлечения метана.

***Ключевые слова*:** метан угленосных толщ, разведка метаноугольных месторождений, типы метаноугольных месторождений, технологии интенсификации газоотдачи угольных пластов.

TYPIZATION OF COALBED-METHANE DEPOSITS OF THE KUZNETSK BASIN BY PROMISING METHANE OUTPUT WITH USING DIFFERENT TECHNOLOGIES OF GAS RECOVERY INTENSIFICATION OF COAL SEAMS

Experts of «Gazprom promgaz» Co based on international experience of coalbed methane (CBM) mining have developed recommendations for expedient application of various methods of coalbed gas recovery intensification under different mining conditions. It will result in reduction of wells number and increase in methane extraction degree.

***Key words*:** coalbed methane, prospecting of coalbed methane deposits, types of coalbed methane deposits, technologies for coalbed gas recovery intensification.

Добыча метана из угольных пластов – это наиболее доступный, дешевый, экологически чистый резерв из известных в мире нетрадиционных источников горючих газов.

Эффективные технологии добычи метана из угольных пластов были разработаны в начале 80-х годов прошлого века в США. Первые сведения о начале промышленной добычи появились в 1983 г. В Австралии коммерческая добыча метана из угольных пластов началась в 1998 г., в Канаде – в 2002 г.

В настоящее время метан из угольных пластов в России извлекается только попутно на полях действующих шахт системами шахтной дегазации, при этом использование шахтного метана затрудняется непостоянными дебитами газа в дегазационных системах и резкими колебаниями его содержания в газовоздушных смесях.

Специфика формы нахождения метана в угольных пластах как нетрадиционных коллекторах состоит в том, что метан как промысловый газ в угольных пластах (в отличие от традиционных залежей свободных газов в порово-трещинных коллекторах) находится в связанном сорбированном состоянии, в основном, в форме абсорбции, в меньшей мере в форме адсорбции и в незначительных объемах (единицы процентов) – в свободном и водорастворенном состоянии.

Основные факторы, определяющие метаноемкость органического вещества, входящего в состав угольных пластов и вмещающих пород, следующие: давление газа, температура, степень метаморфизма, петрографические особенности угля.

Механизм движения метана через трещинно-пористую среду угольного пласта характеризуется тремя связанными процессами:

• десорбцией метана с поверхности угольных частиц;

• диффузионным потоком через микропоры к трещинам кливажа;

• потоком Дарси – движение через кливаж к скважинам.

Поровая фильтрационно-емкостная среда угольных пластов непрерывно меняется при откачке воды и десорбции метана в процессе его добычи. Следовательно, коллекторские свойства угольных пластов на промысловых полигонах изменяются, что может вызвать необходимость их техногенного улучшения.

Для обеспечения эффективной добычи метана из угольных пластов применяются различные методы интенсификации газоотдачи. Выбор методов и параметров технологий интенсификации газоотдачи пластов предопределяются конкретными горно-геологическими условиями промысловых объектов и поверхностными условиями размещения скважин.

Основная задача большинства применяемых технологий – установление эффективной связи ствола добывающей скважины с природной системой трещин в угольном пласте для создания депрессии, обеспечивающей развитие в пласте зоны пониженного давления, необходимого для интенсивной десорбции и фильтрации метана к скважине. В некоторых случаях, оказывается, целесообразно создавать избыточное давление в пласте, закачивая через инъекционные скважи-

ны газы (диоксид углерода или азот), вытесняющие метан из угольных пластов.

В настоящее время применяются следующие основные методы воздействия на пласт:

• гидравлический разрыв пластов;

• расширение открытого ствола скважины;

• бурение горизонтальных, наклонно-направленных и многозабойных скважин;

• метод кавернообразования в необсаженном стволе скважины.

Дополнительными методами интенсификации газоотдачи являются электровоздействие, акустическое и вибрационное воздействие, а также термические методы в различных модификациях и инъекция в угольный пласт диоксида углерода и азота.

Гидравлический разрыв – самый распространенный метод воздействия на угольные пласты – это процесс нагнетания специальной жидкости с пропантом в скважину с большой скоростью, после чего происходит разрушение пласта и образование вертикальной трещины. Пропант необходим для предотвращения смыкания стенок трещины и для предохранения от забивания трещин угольными частицами.

Гидроразрыв пласта применим при разных геологических условиях и в настоящее время используется в мире более чем на 80 % действующих скважин для добычи метана.

Для обеспечения эффективной стимуляции пластов особенно важно верно выбрать жидкость гидроразрыва. Для пластов небольшой мощности при низкой температуре коллекторов жидкость гидроразрыва может быть следующих видов: азотная пена для низконапорных коллекторов, жидкости на водной основе для коротких трещин с низкой проводимостью; линейный или поперечно-сшитый гель для широких и длинных трещин.

Другая эффективная технология – пневмогидродинамическое воздействие на угольный пласт с кавернообразованием – заключается в периодически повторяющихся циклах введения воздуха или водовоздушной смеси в интервал необсаженного ствола. В процессе завершения ствол скважины эффективно связывается с коллектором, благодаря созданию большого количества разнонаправленных, самораскливающихся трещин.

Анализ горно-геологических условий, в которых наиболее эффективна технология «open-hole cavity completion», показывает, что обязательными условиями для этого являются:

• аномально высокое пластовое давление флюидов;

• высокая газоносность пластов (более 15 $м^3$/т) при полном газонасыщении;

• витринитовый петрографический состав углей (80-90 %);

• мощные угольные пласты (более 10-12 м);

• средняя стадия метаморфизма углей (R^0 = 0,75-1,1);

• низкая зольность углей (10-15 %).

Наиболее успешно эта технология применялась при завершении бассейна Сан Хуан и в Новой Мексике. На некоторых площадях скважины, «завершенные» методом «open-hole cavity», производят значительно больше газа, чем скважины, завершенные с использованием других технологий, таких как гидроразрыв.

Еще один метод интенсификации притока – бурение наклоннонаправленных и горизонтальных скважин – получил наибольшее распространение в Австралии, где особенно часто используют две технологии – MRD и TRD.

Технология TRD (технология бурения скважин с малым радиусом искривления) отличается тем, что позволяет непосредственно в угольном пласте искривлять ствол скважины по радиусу 0,3-0,5 м.

При бурении скважин по технологии TRD производится вскрытие продуктивных угольных пластов вертикальным стволом скважины. Затем в интервале залегания угольного пласта ствол скважины расширяется до 800 мм. В расширенный интервал

ствола спускается разработанное специалистами австралийской компании CMTE отклоняющее устройство, благодаря которому удается отклонить разработанный ими специальный буровой снаряд от вертикали до 90° со сверхмалым радиусом и бурить в угольном пласте радиально отходящие от скважины боковые горизонтальные стволы (до 10 шт.) длиной до 300 м каждый (многозабойная скважина).

При наличии в разрезе нескольких пригодных для добычи метана угольных пластов после окончания разбуривания первого угольного пласта переходят к следующему разрабатываемому пласту, где также производят описанный выше комплекс работ по бурению боковых стволов (многоярусная многозабойная скважина).

Технология MRD (технология бурения скважин со средним радиусом искривления), разработанная австралийской компанией «SIGRA», получила широкое распространение, так как ограничений для ее применения достаточно мало и она весьма перспективна с коммерческой точки зрения. Особенность технологии MRD заключается в необходимости строительства основной вертикальной скважины, с которой должны пересекаться стволы одной или нескольких наклонно-направленных (или горизонтальных) скважин.

Несколько слов о технологии добычи метана из угольных пластов с искусственным поддержанием энергии пласта, с помощью которой возможно резко увеличить коэффициент извлечения газа. Инъекция азота или диоксида углерода в угольные пласты понижает парциальное давление адсорбированного метана, ускоряя десорбцию и добычу метана и в то же время поддерживая общее давление в коллекторе. Лабораторные тесты показывают, что может быть извлечено вплоть до 90 % от первоначального количества газа в угольных пластах, что значительно выше 30-70 % обычно добываемых традиционным снижением давления в коллекторе.

В настоящее время в бассейне Сан Хуан испытываются два метода: десорбция замещения метана с использованием углекислого газа и вытеснение метана азотом.

Одним из критических требований к рентабельной добыче с применением данной технологии являются поставки азота и CO_2 низкой стоимости.

На основе анализа зарубежного опыта разработки метаноугольных месторождений с различными горно-геологическими условиями специалистами ОАО «Газпром промгаз» разработаны рекомендации по применению различных методов интенсификации газоотдачи угольных пластов для различных типов метаноугольных месторождений.

В основу типизации метаноугольных месторождений по возможности применения различных методов интенсификации газоотдачи были положены геолого-структурная приуроченность месторождений и характеристика их угленосности. Всего выделяется четыре основных типа метаноугольных месторождений.

Метаноугольные месторождения 1-го типа в геологическом отношении представляют собой синклинальные и антиклинальные структуры либо моноклинали с пологими углами падения до 30-35º; угольные пласты малой и средней мощности (до 3,5 м). Такие месторождения могут разрабатываться равномерной сеткой вертикальных скважин (рис.1, *а*) или с применением кустового метода их размещения (рис.1, *б*), когда условия рельефа либо наличие на поверхности инженерных сооружений не позволяют размещать скважины по равномерной сетке.

Основной вид технологий интенсификации газоотдачи – гидроразрыв продуктивных угольных пластов.

Примеры месторождений 1-го типа в Кузбассе: Кыргайское, Талдинское, Беловское, Чертинское, Жерновское, Ерунаковское, Южно-Конюхтинское.

Метаноугольные месторождения 2-го типа – это синклинальные и антиклинальные структуры, либо моноклинали с углами паде-

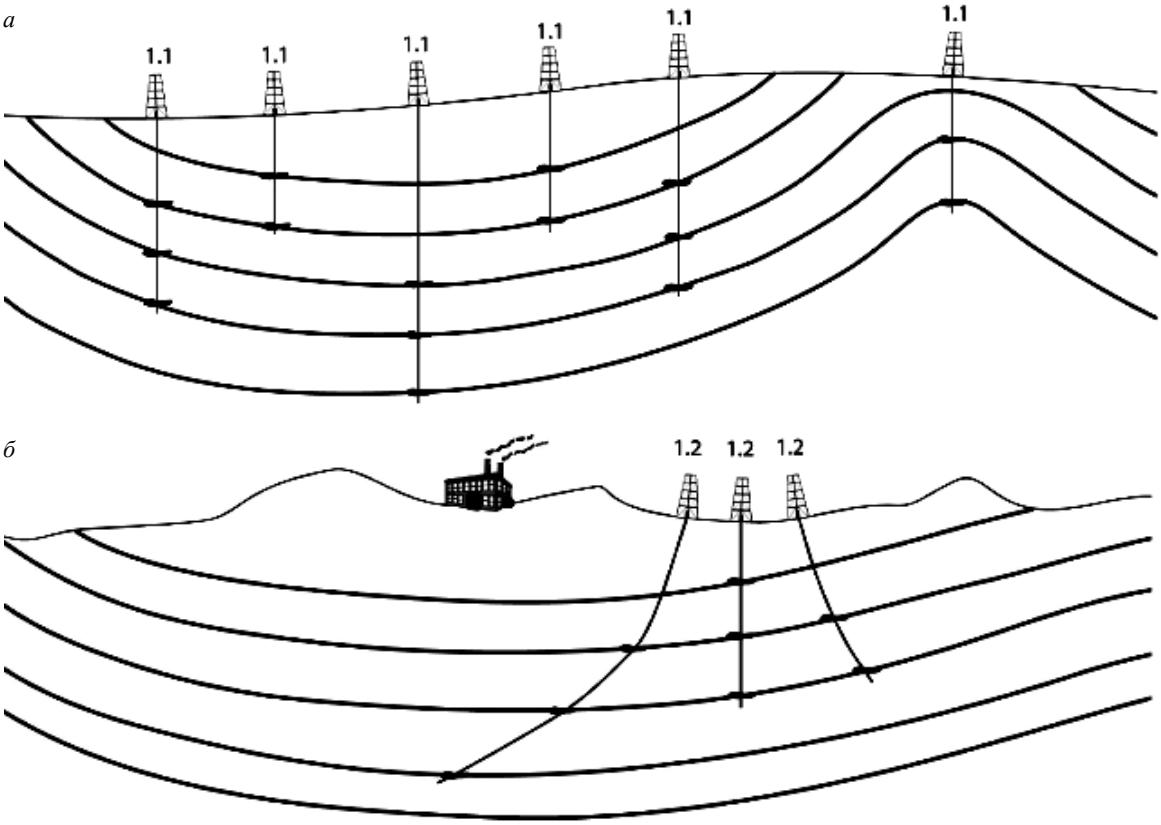


Рис.1. Схема разработки месторождения 1-го типа: *а* – размещение скважин по регулярной сетке; *б* – кустовое размещение скважин

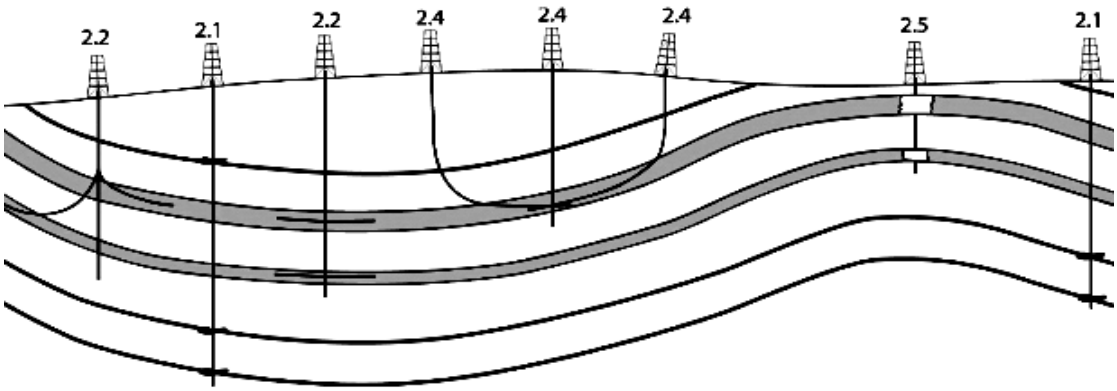


Рис.2. Схема разработки месторождения 2-го типа

ния пластов до 30-35º; угольные пласты малой и средней мощности (до 3,5 м), а также пласты мощностью 3,5-10,0 м и более.

Метаноугольные залежи, приуроченные к группам угольных пластов малой и средней мощности, разрабатываются вертикальными скважинами с гидроразрывом (рис.2) по схеме, аналогичной разработке месторождений 1-го типа.

Метаноугольные залежи, приуроченные к мощным угольным пластам, могут разрабатываться скважинами с проходкой наклонно-направленных и горизонтальных стволов протяженностью 100-150 м скважин с малым радиусом искривления по продуктивным угольным пластам (рис.2).

Другой вариант разработки метаноугольных залежей, приуроченных к мощ-

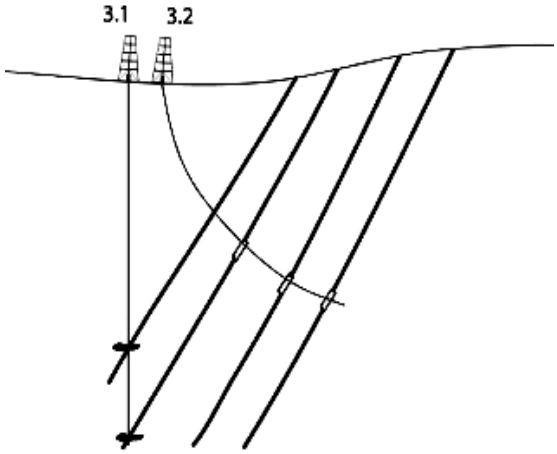


Рис.3. Схема разработки месторождения 3-го типа

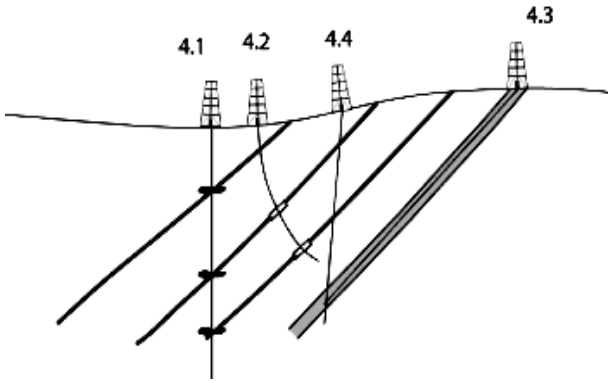


Рис.4. Схема разработки месторождения 4-го типа

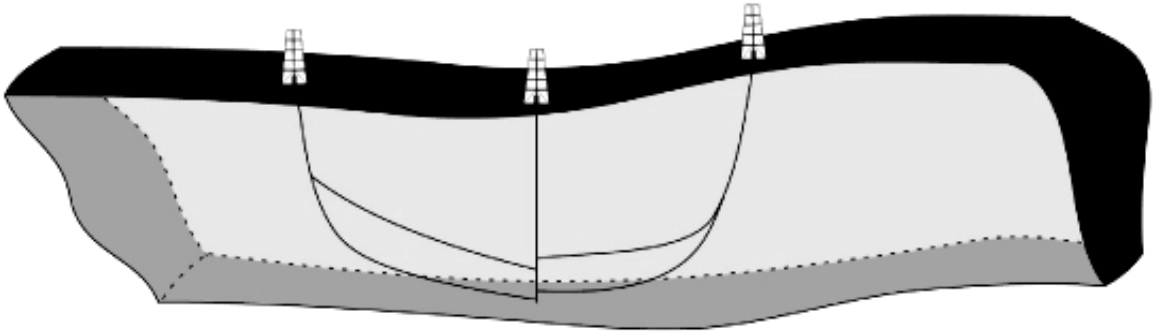


Рис.5. Схема разработки месторождения по технологии MRD

ным угольным пластам – это бурение по технологии MRD и технологии пневмогидродинамического воздействия (кавернообразования) в открытом стволе.

Также возможно бурение веерных боковых стволов протяженностью до 200-300 м из предварительно сделанной полости в угольном пласте.

Примеры месторождений 2-го типа в Кузбассе: Нарыкско-Осташкинское, Распадское, Ольжерасское.

Метаноугольные месторождения 3-го типа в геологическом отношении – это крылья структур с крутыми углами падения (более 35º); угольные пласты малой и средней мощности (до 3,5 м).

Такие месторождения целесообразно разрабатывать вертикальными скважинами с гидроразрывом (рис.3), или наклонно-направленными (возможно горизонтальными) скважинами с подрасширением ствола в продуктивных угольных пластах.

Примеры месторождений 3-го типа в Кузбассе: месторождения западной части Ускатского района, Новороссийская и Виноградовская антиклинали в Ленинском районе, Прокопьевско-Киселевский район.

Метаноугольные месторождения 4-го типа в геологическом отношении – это крылья структур с крутыми углами падения (более 35º), угольные пласты малой и средней мощности (до 3,5 м), а также пласты мощностью 3,5-10,0 м и более.

Метаноугольные залежи, приуроченные к группам угольных пластов малой и средней мощности, разрабатываются вертикальными скважинами с гидроразрывом, а также наклонно-направленными скважинами по схеме, аналогичной разработке месторождений 3-го типа (рис.4).

Метаноугольные залежи, приуроченные к пластам повышенной мощности (более 5 м), могут разрабатываться одиночными наклонно-направленными скважинами, ко-

торые бурятся по мощным газоносным пластам с его выхода под наносы по падению пласта (рис.4). Профиль скважины ориентируется по нормали к основной системе трещин. Другой вариант – заканчивание скважин открытым стволом с подрасширением. Этот метод разработки применим для залежей в пластах с небольшой (до 50-100 м) зоной газового выветривания, с хорошей проницаемостью (более 10 мД).

Также эти залежи могут разрабатываться группами скважин по технологии MRD (рис.5).

Примеры месторождений 4-го типа в Кузбассе: месторождения Прокопьевско-Киселевского и Бачатского районов.

В заключение стоит отметить, что оптимальные для горно-геологических условий конкретного месторождения параметры технологий интенсификации газоотдачи угольных пластов и рациональные схемы размещения скважин позволят уменьшить число эксплуатационных скважин, увеличить степень извлечения метана и снизить себестоимость его добычи.