

К вопросу о влиянии водородной дегазации на формирование газовых, газогидратных и угольных месторождений метана

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-4-39-45>

В работе показано, что водородно-метановая дегазация Земли – источник газовых, газогидратных и угольных месторождений метана, которые в нетронutom разработкой и добычей состоянии являются единственной защитой атмосферы Земли от парниковых газов. При этом метан газовых месторождений поступает в их пространство от внешних источников, лежащих в глубинах земной мантии. В угольных пластах большая часть метана сорбируется блоковыми сорбционными частицами, а большая часть водорода, взаимодействуя с веществом угля, уменьшает его прочность на сдвиг. В свою очередь водородная дегазация приводит к образованию газогидратных залежей, которые, обладая очень низкой проницаемостью, предохраняют атмосферу Земли от выбросов парниковых газов. Для уменьшения выброса метана в атмосферу предложена эффективная технология одновременной добычи угля и метана с использованием горных проходческих комбайнов гироскопического типа.

Ключевые слова: глобальная водородная дегазация, атмосфера Земли, газовые, газогидратные и угольные месторождения, метан.

Для цитирования: Бобин В.А., Грабский А.А., Грабская Е.П. К вопросу о влиянии водородной дегазации на формирование газовых, газогидратных и угольных месторождений метана // Уголь. 2022. № 4. С. 39-45. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-4-39-45.

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время научное сообщество с большим интересом обсуждает гипотезу так называемой водородной дегазации, которую более 40 лет назад обосновал в своих трудах В.Н. Ларин, но которая долгое время не находила поддержки в научных кругах, так как она пересматривала устоявшиеся постулаты науки о Земле [1].

Необходимо отметить, что когда говорят о водородной дегазации Земли, то имеют в виду дегазацию не чистого водорода, а смеси газов, в состав которой входят, как правило, метан и другие легкие углеводородные газы, а также незначительные количества гелия, радона, сероводорода и углекислого газа. При этом в смеси содержание самого водорода не является преобладающим. Поэтому этот природный процесс было бы правильнее называть водородно-метановой дегазацией Земли.

Из всех газов, входящих в водородную смесь, только метан признан и узаконен как полезное ископаемое. Поэтому все, что так или иначе связано с развитием и уточнением взглядов на вопросы образования, транспортировки и физико-химического преобразования самого метана, а также среды, в которой он распространяется, имеет первостепен-

БОБИН В.А.

Доктор техн. наук, заведующий отделом Института проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова РАН, 111020, г. Москва, Россия, e-mail: bobin_va@mail.ru

ГРАБСКИЙ А.А.

Доктор техн. наук, профессор, заведующий кафедрой горного дела ФГБОУ ВО «Российский государственный геолого-разведочный университет» им. Серго Орджоникидзе (МГРИ), 117997, г. Москва, Россия, e-mail: grabskyaа@mgri.ru

ГРАБСКАЯ Е.П.

Канд. экон. наук, доцент кафедры «Индустриальная стратегия» НИТУ «МИСиС», 119049, г. Москва, Россия, e-mail: pgmtk@mail.ru

ное значение как для научных, так для практических целей. Понимание и дальнейшее развитие этой гипотезы в перспективе позволят решить целый комплекс геоэкологических проблем, связанных как с последствиями масштабного техногенного изменения недр в процессе освоения минеральных ресурсов литосферы [2], так и с созданием новых критериев и методов экологической оценки раздельного депонирования в атмосфере и литосфере сложных газовых смесей, поступающих из мантии Земли [3].

УЧАСТИЕ ВОДОРОДНОЙ ДЕГАЗАЦИИ В ОБРАЗОВАНИИ ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ МЕТАНА

Известно, что метан в природе может находиться в свободном, растворенном в воде, газогидратном и сорбированном состоянии.

В свободном состоянии метан присутствует в так называемых газовых месторождениях, среди которых наиболее известными в России являются Уренгойское, Ямбургское и Бованенковское (табл. 1). В табл. 1 приведены расчетные данные об объеме, занимаемом свободным метаном в массиве горных пород при следующих термодинамических условиях: давление ($p = 100 \text{ атм} = 10 \text{ МПа}$), температура ($T = 300^\circ\text{K}$), плотность метана ($\rho = 0,71 \text{ кг/м}^3$). В ней через наклонную черту представлены для наглядности расчетные данные о значении ребра куба, который по своему объему эквивалентен объему, занимаемому свободным газом в газовом месторождении.

Конечно, объем, занимаемый свободным газом на газовом месторождении, не имеет такую правильную форму, а состоит из громадного количества каналов фильтрационного и молекулярного типа, которые имеют произвольную пространственную ориентацию в массиве горных пород, формируя их проницаемость. Протяженность таких транспортных каналов при условном радиусе 1 см составляет порядка 10-15 тыс. км.

Оставляя за скобками сложное геологическое строение горных пород, в которых формируется газовое месторождение, обратим внимание на то, что под термином «газовое месторождение» понимается не место рождения газа, а место залегания ловушки, в которую попал метан в результате перемещения в земной коре.

Хотя по вопросу образования метана нет единого мнения, однако гипотезы биогенного и абиогенного метана пока мирно сосуществуют. При этом в зависимости от источника образования выделяют метан газовых месторождений, то ли образовавшийся в толщах вмещающих пород на разных этапах формирования, то ли поступающий по различным каналам из глубин земной мантии, то ли образованный в результате химических реакций.

Однако, в этот вопрос можно внести некоторую ясность, если проанализировать динамику падения давления в газовом месторождении в зависимости от количества добываемого метана, то есть исследовать зависимость $p(t) = f(Q(t))$, где $p(t)$ – давление свободного метана в газовом месторождении, а $Q(t)$ – количество метана, добываемого из его недр.

Формула, которая используется для описания этой зависимости, имеет вид:

$$p = (\rho q - Q)RT/Vm, \quad (1)$$

где $(\rho q - Q)$ – масса метана в газовом месторождении ($\rho = 0,71 \text{ кг/м}^3$ – плотность метана, q – утвержденные запасы метана на месторождении) на текущий момент времени его исчерпания, $R = 8,314 \text{ Дж/моль}^\circ\text{K}$ – газовая постоянная, V – объем свободного пространства газового месторождения, $m = 16 \text{ г/моль}$ – молекулярный вес метана.

Из анализа формулы (1) следует, что если свободный объем газового месторождения не имеет фильтрационной связи с внешними источниками метана, а сам метан по своему происхождению является биогенным и сосредоточен исключительно в породах самого газового месторождения, то зависимость падения давления от количества извлекаемого метана должна представлять собой убывающую линейную функцию с коэффициентом наклона, выражаемым соотношением:

$$k_{\text{теор}} = RT/Vm. \quad (2)$$

Проверку справедливости этого вывода проводим, используя экспериментальные данные по измерению давления метана и количества извлекаемого метана на Шебелинском газовом месторождении (рис. 1) [4].

Известно, что запасы газа на Шебелинском месторождении оценивались по объему в 600 млрд м^3 . Расчеты показывают, что этот объем газа весил $4,26 \cdot 10^{11} \text{ кг}$, которые при давлении 28 МПа занимали свободный объем в массиве горных пород, равный $2,23 \cdot 10^9 \text{ м}^3$. Подставляя известные и рассчитанные величины в формулу (2), получаем, что $k_{\text{теор}} = 6,6 \cdot 10^{-5} \text{ Н/м}^2\text{кг}$.

В свою очередь, учитывая фактические данные, приведенные на рис. 1 (сплошная наклонная прямая), получаем реальное значение коэффициента пропорциональности, равное $k_{\text{факт}} = 9,2 \cdot 10^{-5} \text{ Н/м}^2\text{кг}$, которое всего на 39% отличается от значения $k_{\text{теор}}$. Это различие связано главным образом с оценочными, а не точными значениями запасов метана на месторождении.

Таким образом, фактические данные о зависимости между давлением метана и величиной его добычи на газовом месторождении (пунктирная кривая) показывают, что эта зависимость только на начальном этапе (сплошная на-

Таблица 1

Расчетные данные об объеме, занимаемом свободным метаном в массиве горных пород ряда месторождений

Месторождение	Год открытия	Запасы метана (трлн м^3)	Объем, занимаемый газом в массиве горных пород (трлн $\text{м}^3/\text{км}$)	Газовый бассейн
Уренгойское	1966	10,2	0,11/4,6	Западная Сибирь
Ямбургское	1969	5,2	0,052/3,7	Западная Сибирь
Бованенковское	2008	7	0,07/4,1	Ямал

клонная прямая) разработки газового месторождения является линейной и описывается уравнением (1). В дальнейшем расхождение между предполагаемой линейной зависимостью и фактическими данными только увеличивается.

Это различие свидетельствует о том, что свободный объем газового месторождения подпитывается за счет фильтрационной связи с нижележащими источниками метана, в которых этот газ находится при высоком давлении, превышающем давление метана на разрабатываемом месторождении.

Кроме того, с большой долей вероятности можно утверждать, что как метан газовых месторождений, так и подпитывающий его в процессе добычи, по своему происхождению не является биогенным, так как он не сосредоточен в горных породах самого месторождения, а поступает в его трещиновато-поровое пространство по различным фильтрационным каналам от внешних источников, лежащих в глубинах земной мантии.

Подтверждением глубинного происхождения метана в газовых месторождениях является и факт наличия в нем водорода и сероводорода, правда, в незначительных количествах. Это связано с тем, что, во-первых, имея высокую геохимическую активность и способность транспортировки в слабопроницаемых горных породах, водород редко встречается в природных газах в значительных концентрациях (всего первые числа процентов), а во-вторых, ощутимое содержание водорода возможно только тогда, когда месторождение метана прикрыто сверху слабопроницаемой крышкой из таких пород, как соли или очень плотные интрузивные и метаморфические породы.

Так, например, значительные концентрации водорода (до 30-50%) были установлены в газах карналитовой зоны Верхнекамского месторождения калийных солей, что также может служить подтверждением реальности процесса водородно-метановой дегазации в формировании газовых месторождений [5].

УЧАСТИЕ ВОДОРОДНОЙ ДЕГАЗАЦИИ В ОБРАЗОВАНИИ ГАЗОНАСЫЩЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЯ

Если в газовых месторождениях водород не задерживается, то в угольных месторождениях водород обнаружен в повышенных концентрациях. Причем содержание водорода в некоторых из них может достигать 15-20%. И такое содержание водорода на месторождениях определяется главным образом коллекторскими свойствами горных пород, глубиной их залегания, тектонической нарушенностью, а также экранирующими свойствами покровных отложений, наличием многолетней мерзлоты и др.

По данным работы [6], в углях Донбасса и Кузбасса концентрация водорода достигала 7,5% в Донбассе и 18,4% в Кузбассе. В Карагандинском бассейне водород был обнаружен в 40% образцов, а его концентрация достигала 10%.

В отличие от газовых месторождений метан угольных пластов находится не в свободном состоянии, а или в сорбированном состоянии, или в состоянии так называемого твердого газоугольного раствора в плотно упакованных блоках (сорбционных частицах), а между блоками – в транспортных каналах в подвижном состоянии [7].

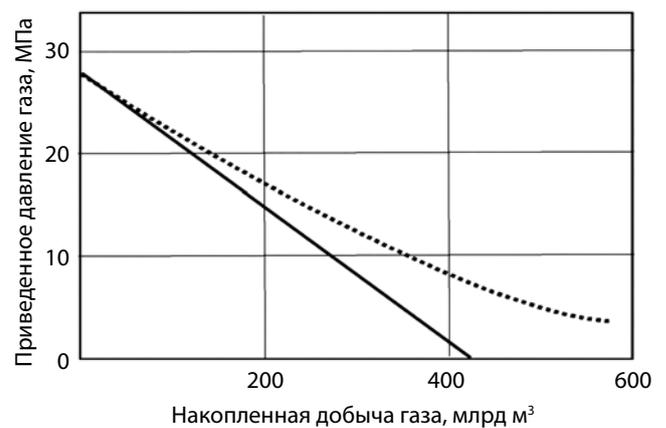


Рис. 1. Зависимость пластового давления газа от добычи газа (наклонная прямая – расчет, пунктирная линия – фактические данные)

Вопрос о том, каким образом метан попадает в угольный пласт и в каком состоянии он находится, до сих пор остается в большей мере дискуссионным. Кроме известных гипотез образования метана в угольных пластах в последние годы появилась гипотеза его генерации из бахромы угольного вещества при разгрузке угольного пласта путем высвобождения активного избыточного водорода и его соединения с атомами углерода [8].

Естественно, что все эти гипотезы не допускают никакого вертикального метано-водородного переноса энергии из самих земных глубин.

Впервые идею о влиянии на состояние сложных геологических сред высказали в 1950-х годах академик Григорий Гамбургцев [9] и член-корреспондент Академии наук СССР Юрий Ризниченко [10], а в начале 1980-х годов академик Михаил Садовский [11] и профессор Виктор Николаевский [12] развили эти идеи, дополнив эти представления.

Согласно им, конкретно для угольных пластов следует вывод о том, что метано-водородный поток неоднородный и непостоянный как в пространстве, так и во времени, благодаря этим своим характеристикам непрерывно изменяет напряженно-деформированное состояние пластов за счет набухания угольного вещества в результате сорбции им метана, диффундирующего через угольный массив, включая и вмещающие породы типа аргиллитов и песчаников.

В результате метано-водородный поток может совершенно непредсказуемым образом изменить состояние угольного вещества в пласте за счет перестройки структуры его порового и фильтрационного пространства, формирования газовой пористости и изменения физико-механических свойств. При этом формирующееся внутреннее напряженно-деформированное состояние за счет набухания углей может проявляться в ползучести и изменении объема.

Что касается сорбционных свойств углей в отношении водорода, метана и углекислого газа, то следует заметить, что водород сорбируется значительно хуже, чем остальные газы, а его доля по сравнению с метаном и углекислым газом не превышает 10-18%, что по порядку величины соответствует его доли в составе рудничных газов.

Этот факт, кроме того, свидетельствует о большей диффузионной и фильтрационной подвижности водорода в транзитном пространстве вещества угольного пласта со сложным блоковым строением. Поэтому если незначительная доля водорода задерживается в сорбционном пространстве, то большая транспортируется сквозь межблоковое пространство, активно взаимодействует с твердой фазой сорбционных блоковых частиц, находящихся как в теле самого угольного пласта, так и на контактах угольного пласта с вмещающими пласт породами. При этом водород изменяет их и делает более рыхлыми, что, в конце концов, может привести к потере прочности вещества угольного пласта на сдвиг.

Таким образом, можно утверждать, что метан и водород диффундируют сквозь пласты, но если большая часть метана сорбируется блоковыми сорбционными частицами и задерживается в них, то большая часть водорода взаимодействует с их твердой фазой и в целом уменьшает прочность вещества угольного пласта на сдвиг как в теле угольного пласта, так и на контактах с вмещающими породами.

О постоянном притоке метано-водородных потоков из земных глубин свидетельствует устойчивое значение термического градиента, величины которого приведены в табл. 2. Из данных табл. 2 следует, что в Кузнецком угольном бассейне термический градиент не превышает 3,5 °C/100 м. Наличие температурного градиента свидетельствует о том, что приток энергии осуществляется в непрерывном стационарном режиме за счет притока метана и водорода, которые сорбируются углем с выделением тепла.

При этом, если бы весь метан имел биогенное происхождение, то за миллионы лет без притока метана из земных глубин в угольных пластах и окружающих их горных породах установилось бы термическое равновесие, а термический градиент по своему значению был бы незначительным или близок к нулю.

Вполне убедительным подтверждением этому выводу служат результаты лабораторного эксперимента по исследованию

и моделированию процесса установления термодинамического равновесия при сорбции метана в герметичных колбах, заполненных газоносным углем [13]. Четыре датчика температуры, установленные по длине колбы на расстоянии 0,095 м друг от друга, зафиксировали, что процесс установления сорбционного равновесия в замкнутой системе сорбат-сорбент, то есть метан-уголь, хотя и не сразу, но все-таки постепенно в режиме колебаний приходит к равновесному состоянию, при котором градиент температуры по длине колбы отсутствует, что отражено количественно в табл. 3.

Несмотря на то, что глубинный метан сорбируется углем и задерживается в нем, разработка угольных месторождений приводит к значительному выбросу в атмосферу этого парникового газа. Поэтому создание новых экологически чистых технологий добычи метана из угольных пластов, обеспечивающих близкое к 100% его извлечение с минимальным выбросом в атмосферу Земли, является насущной потребностью практики.

Примером такой технологии может служить технология комплексной добычи угля и шахтного метана роботизированными проходческими комплексами гироскопического типа (РПКгиро) [14].

Сущность этой технологии представлена на рис. 2 и заключается в следующем:

- лава изолируется от выработанного пространства шахты и создается изолированная добычная зона;
- РПКгиро размещается в изолированной добычной зоне и начинает работать тогда, когда концентрация метана в добычной зоне достигнет взрывобезопасного значения;
- РПКгиро углубляется на заданное расстояние, обеспечивая гранулометрический состав стираемых частиц угля размером не более 0,1 мм, что обеспечит практически мгновенную и полную их дегазацию;
- дегазированный уголь через трубопровод транспортируется в откаточный штрек;
- в результате проходки формируется первый дегазационный штрек;

Таблица 2

Значение термического градиента земных глубин различных областей России

Область	Геотермическая ступень, м/°C	Геотермический градиент, °C/100м
Карпаты, Крым, Кавказ	20-50	2-6
Камчатка и Курильские острова	5-33	3-20
Урал, Саяны, Алтай	30-70	1,5-3,5
Русская, Западно-Сибирская и Восточно-Сибирская платформы	30-100	1-3,5
Балтийский и Украинский щиты	100-167	0,07-0,1

Таблица 3

Динамика процесса установления термодинамического равновесия при сорбции метана в герметичных колбах

Номер датчика	Температура			
	$T_1 = 5$ мин	$T_2 = 100$ мин	$T_3 = 200$ мин	$T_4 = 2200$ мин
1	19,2	19,8	20,4	20,05
2	19,7	20,4	20,9	19,95
3	21,3	21	21	19,75
4	21,8	23,6	20,4	19,8
Термический градиент, °C/100 м	0,09	0,13	0,03	0,01

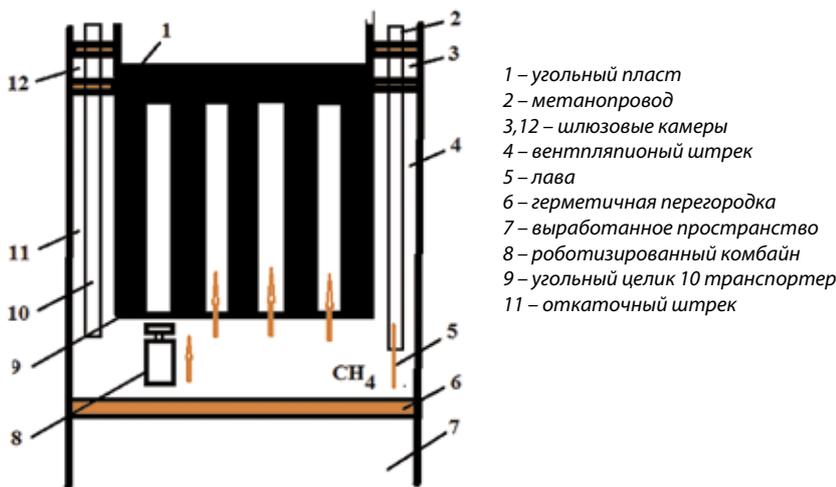


Рис. 2. Схема экологически чистой технологии комплексной добычи угля и метана

– РПКгиро возвращается на первоначальную линию лавы, а потом начинает проходку второго дегазационного штрека;

– одновременно с этим происходит закладка выработанного пространства первого дегазационного штрека;

– процесс образования следующего вентиляционного штрека и закладка предыдущего продолжают до тех пор, пока РПКгиро не дойдет до противоположного края подготовленной лавы;

– затем РПКгиро возвращается к первому защитному угольному целику и проходит его с выемкой угля и метана;

– процесс продолжается до тех пор, пока не будут вынуты все сформированные защитные угольные целики;

– на всех этапах выделяющийся из угля и угольных целиков метан по специальному трубопроводу перемещается на поверхность и далее к потребителю.

Сформированные закладочным материалом целики обеспечат безопасность проводимых работ по добыче угля и метана, а также устойчивость выработанного пространства и земной поверхности над выработками.

Таким образом, в результате осуществления технологии комплексной добычи угля и содержащегося в нем метана будет обеспечена безопасная во всех отношениях добыча угля и метана с высокой степенью извлечения (порядка 95-98%), что и обеспечит минимальную утечку метана в атмосферу Земли.

Использование электрифицированного РПКгиро позволит значительно повысить экономическую эффек-

тивность принципиально новой геотехнологии добычи угля за счет повышения степени извлечения метана, ликвидации аварий, связанных с опасными газодинамическими явлениями, взрывами метана и пожарами, а также устранения выбросов этого парникового газа в атмосферу при значительном увеличении экономики электроэнергии и металла за счет использования комбайна гироскопического типа.

УЧАСТИЕ ВОДОРОДНОЙ ДЕГАЗАЦИИ В ОБРАЗОВАНИИ ГАЗОГИДРАТНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ МЕТАНА

Не менее сложные физико-химические процессы происходят в массиве месторождений газогидратов, а их образование главным образом зависит от источников природных газов, в число которых входят

CH_4 , C_2H_6 , C_3H_8 , CO_2 , N_2 , H_2S , изобутан и т.п. При этом большая часть природных газогидратных месторождений состоит из гидратов метана и диоксида углерода.

Однако природных гидратных образований, содержащих водород, найдено не было. И этот факт связан не только с определенными термобарическими условиями образования гидратов в морских донных осадках и в областях многолетнемерзлых пород, но со структурой полостей, в которых одновременно фиксируются молекулы свободного газа, гидратообразователя и воды.

Известно, что эти полости образуются молекулами воды. Они представляют собой 12-, 14-, 16- и 20-гранники, внутри которых молекулы свободного газа связаны с поверхностью полости ван-дер-ваальсовскими связями. Среднее значение размера этих полостей изменяется в пределах от 1,2 до 2,35 нм, что позволяет захватывать и содержать в стабильном сорбированном состоянии исключительно метан, его гомологи и аргон, но не водород.

Это свойство газогидратных полостей аналогично свойству нанопор природных углей, в которых, как показывают опыты, в разной степени сорбируются метан, углекислый газ, аргон, азот и, наконец, водород [7]. В табл. 4 представлены результаты экспериментальных работ по сорбции вышеперечисленных газов природными углями, позволившие классифицировать нанопоры в природном угле.

Из данных табл. 5 следует, что только в микронанопорах размером 0,55 нм водород может находиться в сор-

Таблица 4

Классификация нанопор в природной системе «уголь-метан»

Группы нанопор	Состояние газа в нанопорах	Характерный размер нанопор, нм				
		Для разных видов газов				
		H_2	N_2	Ar	CH_4	CO_2
Микронанопоры	Сорбированное	0,55	0,75	0,73	0,83	0,93
Субнанопоры	Сорбированное. Квазисвободное	1,64	2,25	2,2	2,5	3,2
Супернанопоры	Квазисвободное. Сорбированное	4,09	5,64	5,49	6,24	6,94

бироваанном состоянии, а в газогидратных многогранных полостях размером 1,2 нм и больше он эффективно не сорбируется.

Отсутствие водорода среди газов газогидратных месторождений свидетельствует также о том, что эти газы, в основном метан, появились там не за счет разгрузки глубинных газовых или нефтяных месторождений. Об этом свидетельствуют продукты разложения газогидратных залежей, которые не содержат соединений азота, а также водорода и кислорода в атомарной форме [15].

Что же касается природы происхождения метана, находящегося в газогидратных залежах, то существуют довольно веские подтверждения, что этот метан имеет неорганическое происхождение. Дело в том, что, например, если бы этот газ имел биохимическое происхождение, то примесь гомологов метана и их производных была бы пренебрежительно мала (тысячные и десятитысячные доли процентов). Однако в газогидратах кроме метана зафиксировано значимо высокое содержание его гомологов и производных [16].

Не помогает решить проблему происхождения метана в газогидратах и разновидность биогенной гипотезы, в которой предполагается, что метан поступает за счет его притока из глубин, где он образуется в результате разложения и миграции углеводов из древних отложений, но не из глубин мантии. Измерения изотопного состава газов этих глубин показывают, что содержание метана в них не превышает 1 мкг/кг [17], и этот факт противоречит указанной гипотезе.

При этом существующий газогидратный слой из-за своей очень низкой проницаемости по отношению к воде и газам может рассматриваться как слой, изолирующий нижележащие газы, не позволяя им участвовать в образовании газогидратов [18] и тем более прорываться этим свободным газам в просторы океана и далее в атмосферу Земли в виде парниковых газов.

Все это позволяет утверждать, что в образовании газогидратных залежей существенную роль играет процесс водородно-метановой дегазации глубоких частей мантии Земли, с помощью которой компоненты в газовой форме транспортируются в земную кору.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. ВЫВОДЫ

По результатам проведенных исследований и представленных в них фактов и соображений можно сделать следующие выводы.

1. Метан газовых месторождений поступает в его трещиновато-поровое пространство по различным фильтрационным каналам от внешних источников, лежащих в глубинах земной мантии.

2. В результате водородно-метановой дегазации метан и водород транспортируются сквозь пласты, но если большая часть метана сорбируется блоковыми сорбционными частицами и задерживается в них, то большая часть водорода взаимодействует с их твердой фазой и в целом уменьшает прочность вещества уголя на сдвиг как в теле угольного пласта, так и на контактах с вмещающими породами.

3. Технология одновременной добычи угля и метана с использованием гироскопических проходческих комбай-

нов предохраняет от неконтролируемых выбросов парниковых газов.

4. В образовании газогидратных залежей существенную роль играет процесс водородно-метановой дегазации глубоких частей мантии Земли, с помощью которой компоненты в газовой форме транспортируются в земную кору.

5. Низкая проницаемость газогидратных залежей предохраняет атмосферу Земли от выбросов парниковых газов, которые, вероятно, содержатся под массивом газогидратов в виде месторождений свободных газов.

6. Водородно-метановая дегазация Земли – источник газовых, газогидратных и угольных месторождений метана, которые в нетронутым разработкой и добычей состоянии являются единственной защитой атмосферы Земли от парниковых газов.

Список литературы

1. Ларин В.Н. Наша Земля (происхождение, состав, строение и развитие изначально гидридной Земли). М.: Агар, 2005. 248 с.
2. Трубецкой К.Н., Галченко Ю.П. Геоэкология освоения недр Земли и экогеотехнологии разработки месторождений. М.: Научтехлитиздат, 2015. 360 с.
3. Galchenko Yu., Ozaryan Ju. Method of quantitative assessment of the regularities of natural restoration of biota in zones of technogenic disturbance // E3S Web of conferences Khabarovsk. 2018. Vol. 56. P. 2-7.
4. Методы добычи нефти и газа – нарастающий источник экологических катастроф / С. Закиров, Э. Закиров, И. Индрупский и др. REGNUM, 10 марта 2019.
5. Зорькин Л.М. Генезис газов подземной гидросферы в связи с разработкой методов поиска залежей углеводов. [Электронный ресурс]. URL: www.geosys.ru/images/articles/Zorkin_1_2008.pdf (дата обращения: 15.03.2022).
6. Зимаков Б.М., Подмарков А.В. Методика применения перфокарт в определениях газоносности угольных пластов. АН СССР. Сектор физ.-техн. горных проблем Ин-та физики Земли им. О.Ю. Шмидта. СФТГП ИФЗ АН СССР. М., 1972. 30 с.
7. Бобин В.А. Сорбционные процессы в природном угле и его структура. М.: АН СССР, Институт проблем комплексного освоения недр, 1987. 104 с.
8. Булат А.Ф., Скипочка С.И., Паламарчук Т.А. Физико-химическая модель генерации метана угольным пластом // Труды Национальной академии наук Украины. 2009. № 11. С. 53-58.
9. Гамбурцев Г.А.. Избранные труды. М.: Издательство АН СССР, 1960, 462 стр.
10. Ризниченко Ю.В., Косминская И.П. О природе слоистости земной коры и верхней мантии // Доклады АН СССР. 1963. Т. 153. № 2. С.323–325.
11. Садовский М.А., Болховитинов Л.Г., Писаренко В.Ф. Деформирование геофизической среды и сейсмический процесс. М.: Наука, 1987. 100 с.
12. Николаевский В.Н. Земная кора, дилатансия и землетрясения. М.: Мир, 1982 С. 133–215.
13. Полевщиков Г.Я., Козырева Е.Н., Бобин В.А. К вопросу о тепловых процессах при установлении сорбционного равновесия в герметичных колбах с газоносным углем // Кокс и химия. 2020. № 4. С. 2-9.
14. Взрывоопасность газа при подземной добыче угля в Кузбассе / Е.А. Козловский, Г.Н. Шаров, А.Э. Конторович и др. // Фун-

- даментальные и прикладные вопросы горных наук. 2018. Т. 5. № 1. С. 76-82.
15. Геворкьян В.Х., Сокур О.Н. Газогидраты – продукт мантийной дегазации // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. 2012. № 1. С. 52-65.
16. Попков В.И., Соловьев В.А., Соловьева Л.П. Газогидраты – продукт глубинной дегазации Земли // Геология, география и глобальная энергия. 2012. № 3. С. 56-67.
17. Лю Тяньлэ. Обоснование и разработка промысловых и тампонажных составов для бурения скважин в условиях льдо- и гидратообразования (на примере разведки газогидратов в провинции Цинхай – КНР): автореф. дис. канд. техн. наук. Национальный минерально-сырьевой университет «Горный». СПб., 2013. 20 с.
18. Газогидраты: технологии добычи и перспективы разработки. Информационная справка. Дирекция по стратегическим исследованиям в энергетике. М., 2013. 22 с.

Original Paper

UDC 62-83:622.411.332. © V.A. Bobin, A.A. Grabskij, E.P. Grabskaya, 2022
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2022, № 4, pp. 39-45
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-4-39-45>

Title

ON THE INFLUENCE OF HYDROGEN DEGASSING ON THE FORMATION OF GAS, GAS HYDRATE AND COAL DEPOSITS OF METHANE

Author

Bobin V.A.¹, Grabskij A.A.², Grabskaya E.P.³

¹ Research Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources named after Academician N.V. Melnikov RAS, Moscow, 111020, Russian Federation

² Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, Moscow, 117997, Russian Federation

³ National University of Science and Technology "MISIS" (NUST "MISIS"), Moscow, 119049, Russian Federation

Authors Information

Bobin V.A., Doctor of Engineering Sciences, Head of the Department, bobin_va@mail.ru

Grabskij A.A., Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Department of Mining engineering, e-mail: grabskyaa@mgi.ru

Grabskaya E.P., PhD (Economic), Associate professor of the department "Industrial Strategy", e-mail: pgmk@mail.ru

Abstract

The paper shows that hydrogen-methane degassing of the Earth is a source of gas, gas hydrate and coal deposits of methane, which, in an untouched state of development and production, are the only protection of the Earth's atmosphere from greenhouse gases. At the same time, methane from gas fields enters their space from external sources lying in the depths of the earth's mantle. In coal seams, most of the methane is sorbed by block sorption particles, and most of the hydrogen, interacting with the substance of coal, reduces its shear strength. In turn, hydrogen degassing leads to the formation of gas hydrate deposits, which, having a very low permeability, protect the Earth's atmosphere from greenhouse gas emissions. To solve the same problem, an effective technology of simultaneous coal and methane extraction using gyroscopic mining combines is proposed.

Keywords

Global hydrogen degassing, Earth's atmosphere, Gas, Gas hydrate and coal-mining field, Methane.

References

- Larin V.N. Our Planet Earth: origin, composition, structure, and development of the originally hydridic Earth. Moscow, Agar Publ., 2005, 248 p. (In Russ.).
- Trubetskoy K.N. & Galchenko Yu.P. Geocology of the Earth's subsoil development and environmental geotechnologies in mining. Moscow, Nauchtekhizdat Publ., 2015, 360 p. (In Russ.).
- Galchenko Yu. & Ozaryan Ju. Method of quantitative assessment of the regularities of natural restoration of biota in zones of technogenic disturbance. *E3S Web of conferences Khabarovsk*, 2018, (56), pp. 2-7.
- Zakirov S., Zakirov E., Indrupsky I., Anikeyev D., Lukmanov A. & Klimov D. Oil and gas recovery methods: a growing source of environmental disasters. *REGNUM Publ.*, 2019, March 10. (In Russ.).
- Zorkin L.M. Genesis of gases in the subsurface hydrosphere as related to the development of hydrocarbon prospecting methods. *Geoinformatika Publ.*, 1984, pp. 34-45. (In Russ.). Available at: <https://regnum.ru/news/2587855.html> (accessed: 15.03.2022).
- Zimakov B.M. & Podmarkov A.V. Methodology of using punch cards in determining the gas content of coal seams. Moscow, 1972, 30 p. (In Russ.).

- Bobin V.A. Sorption processes in natural coal and its structure. Academy of Sciences of the USSR, Research Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources, Moscow, 1987, 104 p. (In Russ.).
- Bulat A.F., Skipochnka S.I. & Palamarchuk T.A. A physical and chemical model of methane generation in a coal seam. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Ukraine*, 2009, (11), pp. 53-58. (In Russ.).
- Gamburtsev G.A. Selected Works. Moscow, Academy of Sciences of the USSR Publ., 1960, 462 p. (In Russ.).
- Riznichenko Yu.V. & Kosminskaya I.P. On the nature of the Earth's crust and upper mantle stratification. *Doklady Akademii nauk SSSR*, 1963, Vol. 153, (2), pp. 323-325. (In Russ.).
- Sadovsky M.A., Bolkhovitinov L.G. & Pisarenko V.F. Deformation of geophysical environment and seismic processes. Moscow, Nauka Publ., 1987, 100 p. (In Russ.).
- Nikolaevsky V.N. Earth's crust, dilatancy and earthquakes. Moscow, Mir Publ., 1982, pp. 133-215. (In Russ.).
- Kozlovsky E.A., Sharov G.N., Kontorovich A.E. et al. Gas explosion hazards in underground coal mining in Kuzbass. *Fundamental'nye i prikladnye voprosy gornyh nauk*, 2018, Vol. 5, (1), pp. 76-82. (In Russ.).
- Polevshchikov G.Ya., Kozyreva E.N. & Bobin V.A. On thermal processes in establishing sorption equilibrium in sealed flasks with gas-bearing coal. *Koks i himiya*, 2020, (4), pp. 2-9. (In Russ.).
- Gevorkyan V.Kh. & Sokur O.N. Gas hydrates as a product of mantle degassing. *Geologiya i poleznye iskopaemye mirovogo okeana*, 2012, (1), pp. 52-65. (In Russ.).
- Popkov V.I., Solovyov V.A. & Solovyova L.P. Gas hydrates as a product of the deep-earth degassing. *Geologiya, geografiya i global'naya energiya*, 2012, (3), pp. 56-67. (In Russ.).
- Tianle Liu. Justification and development of flushing and plugging compositions for well drilling in conditions of ice and hydrate formation (as exemplified by gas hydrate exploration in Qinghai province, China). Abstract of Ph.D. thesis. National Mineral Mining University. St. Petersburg, 2013, 20 p. (In Russ.).
- Gas hydrates: extraction methods and development prospects. Fact sheet. Directorate for Strategic Research in Power Engineering. Moscow, 2013, 22 p. (In Russ.).

For citation

Bobin V.A., Grabskij A.A. & Grabskaya E.P. On the influence of hydrogen degassing on the formation of gas, gas hydrate and coal deposits of methane. *Ugol'*, 2022, (4), pp. 39-45. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2022-4-39-45.

Paper info

Received February 8, 2022

Reviewed February 16, 2022

Accepted March 22, 2022