

УДК 550.84:550.442:661.96

К ВОПРОСУ ВОДОРОДОНОСНОСТИ УГОЛЬНЫХ БАССЕЙНОВ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

© 2010 А.И. Гресов, А.И. Обжиров, А.В. Яцук

*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичёва ДВО РАН, Владивосток, 690041;
e-mail: gresov@poi.dvo.ru*

На основе обширного материала газового опробования рассматриваются принципиальные вопросы генезиса и форм нахождения водорода в угольных бассейнах Дальнего Востока. Установлены основные геологические факторы, влияющие на распределение природного водорода в угленосных толщах, и некоторые причины его техногенного образования.

Ключевые слова: угольные бассейны, водород, генезис, миграция, Дальний Восток.

ВВЕДЕНИЕ

Водород в большинстве случаев присутствует в газах вулканов, фумарол, гидротермальных систем, глубинных разломов активных сейсмических зон (Обжиров, 1993; Обжиров, Попова, 1986; Таран, 1988). Содержание его в свободных газах фумарол достигает единицы и десятки процентов. В гидротермальных водах концентрация водорода превышает несколько мл/л воды.

Концентрация водорода в газах гидротерм и зон разломов изменчива во времени. Она прямо пропорционально зависит от вулканической, гидротермальной, сеймотектонической активности района исследования (Меняйлов, 1974). Наблюдения за содержанием водорода в гидротермальных источниках вулкана Сакурадзима в Японии по данным (Yoshida, 1984) показали, что в период затишья вулканической деятельности концентрация водорода снижалась до следов, при активизации возрастала до 0.8%. В работе (Юаса, 1988) описан эксперимент изменения концентрации водорода и радона в образце гранита под воздействием на него различными нагрузками. Эманации водорода и радона из образца увеличиваются при появлении в граните микротрещин. При снятии напряжения эманации водорода прекращались, а эманации радона находились на некотором уровне. Аномалии водорода и радона появились при разрушении (разломе) образца.

Другими словами, эксперимент подтвердил, что водород является хорошим индикатором активизации геологических процессов и может использоваться как критерий прогноза землетрясений. В.Н. Ларин (Ларин, 1980) считает, что в ядре Земли присутствуют гидриды металлов. Их взаимодействие с водой и другие химические реакции способствуют поддержанию высокой температуры в ядре и мантии, выделению водорода, его миграции к поверхности и присутствию его в вулканических, гидротермальных и активных глубинных зонах разломов.

Аномалии водорода были встречены в зоне трансформного разлома между хребтами Тонга-Кермадек (Обжиров, Попова, 1986), в центральной части меридионального разлома на внешней бровке шельфа Южно-Китайского моря, в районе Магеллановых гор Тихого океана, в гидротермальных системах Курильских островов, островов Уэйл и Уайт, Рабаульской кальдеры. Во всех случаях он был индикатором вулканической или сеймотектонической активности.

Приведенные данные свидетельствуют, что водород является важным газогеохимическим индикатором геологических процессов. Поэтому изучение водорода, который обнаружен в газах угленосных отложений угольных месторождений и бассейнов Дальнего Востока, является актуальным как для научного понимания распределения водорода в гидросфере и литосфере, так и для промышленной его добычи.

Водород установлен в составе природного

газа вмещающих пород, угольных пластов, газовой фазы подземных вод и свободных газопроявлений, где он присутствует, как правило, в виде постоянных микропримесей и примесей в концентрациях от тысячных до десятых долей процентов (Угольная..., 1997, 1999, 2004). Ряд угольных месторождений и бассейнов Дальневосточного региона характеризуется весьма изменчивыми и аномальными концентрациями водорода в угленосных толщах, варьирующих в пределах от 1-10 до 20% и более; водород из разряда газов-примесей ранжируется в компонентный состав основных газов угленосных толщ. Проблематике и первопричинам этой изменчивости посвящена настоящая работа

В последнее время изменчивость и аномальные концентрации водорода в угленосных толщах пытаются объяснить его вторичным образованием в процессе отбора и лабораторных дегазационных работ (термодегазации). Ряд исследователей, ссылаясь на работы (Гонцов, 1975; Карпов, 1971), выдвигают гипотезу вторичного происхождения (техногенного генезиса) водорода в угленосных толщах угольных бассейнов (Донбасса и Кузбасса). Данная гипотеза обосновывается тремя основными положениями.

1. В процессе буровых работ уголь и вмещающие породы, непосредственно соприкасающиеся с режущей кромкой инструмента, подвергаются большим динамическим нагрузкам, в том числе дроблению, перетиранию, тонкому и сверхтонкому измельчению, различным видам механического удара и другим воздействиям, способствующим разрушению горных пород. Все это приводит к сильному разогреву активных поверхностных слоев, а также и механохимической активации и деструкции выбуренных вмещающих пород, угля и натертого металла. В результате механохимической активации возрастает реакционная способность твердых веществ, ускоряющая химические реакции, как между твердофазными компонентами, так и между твердыми и жидкими. Водород может выделяться в результате взаимодействия мельчайших частиц натертого металла бурового инструмента с водой. Причем и после активации выделение водорода наблюдается еще продолжительный период времени уже при нормальных температурах, затухая по экспоненте по мере расходования активных реагентов (Карпов, 1971).

2. При механохимических процессах не исключается возможность конверсии метана с образованием окислов углерода и водорода, а также разложение нафтеновых и гуминовых кислот с выделением водорода (Гонцов, 1975).

3. Аномальные концентрации водорода, установленные в газовых пробах, отобранных из керногазонаборников (КГН) и герметических

сосудов (ГС) при термодегазации, объясняются жесткими термобарическими условиями дегазации (Гонцов, 1975).

Авторы гипотезы ссылаются на данные результатов термодегазации углей и пород в термическом режиме температур 60-90°C и давлении 5-10 мм рт. ст. что в переводе на нормальные условия соответствует 170-210°C, и делают следующие выводы:

- при таких температурах все металлы, стоящие в ряду напряжений левее водорода, вытесняют его из воды;

- при длительной дегазации в таких условиях возможен процесс низкотемпературного катализа. Этот факт убедительно доказан многочисленными исследованиями в нефтяной геологии по превращению рассеянного органического вещества (ОВ) в углеводороды;

- в указанных условиях не исключена возможность термической деструкции, ведущей к дегидрированию и декарбоксилированию некоторой части угольного вещества;

- удельная водородоносность углей и продолжительность термодегазации находятся в прямо пропорциональной зависимости.

На основании изложенных положений объясняется резко изменчивый характер распределения водорода в угленосных толщах, наличие в угольных бассейнах и месторождениях зон и участков с аномальными значениями его концентраций и делается вывод о вторичности его происхождения в угленосных толщах.

Авторы настоящей работы не отрицают возможности процессов техногенного образования водорода при ведении буровых и термодегазационных работ, но имеют несколько иную точку зрения на происхождение водорода.

Действительно, низкотемпературный катализ и образование при этом углеводородных газов (УВГ) из рассеянного ОВ имеют место на стадии регионального метаморфизма, но в условиях высоких давлений, а на стадии лабораторных работ данных условий просто не существует.

Исследованиями установлена тенденция возрастания удельной водородоносности углей региона с увеличением продолжительности термодегазации. Это связано не с техногенезом, а с ультрамикropористостью большинства углей и кинетикой отдачи УВГ и H_2 из них. На более поздних стадиях дегазации требуется большее время термодегазационного воздействия на уголь для расширения ультрамикropор и извлечения из них газа (Бакалдина, 1985; Обжиров, 1979).

Исследования газоносности угольных бассейнов и месторождений региона за последний тридцатилетний период геолого-газовых работ показывают, что основная масса водорода угле-

носных формаций образовалась в природных условиях, а изменчивый и аномальный характер его распределения обусловлен комплексным влиянием геологических факторов, специфичных для Дальнего Востока. Авторская позиция о природном генезисе водорода в угольных бассейнах базируется на четырех основных фактических положениях:

– водород в различных концентрациях установлен в 60% исследованных газовых проб. Частота встречаемости водорода в отобранных пробах газа ставит под сомнение его техногенное образование (Обжиров, 1979);

– наличие водорода в газовой фазе подземных вод (до 1.02%), в газопроявлениях на земной поверхности (до 1.12%) и из скважин (свободные газовыделения, выбросы газа – до 27.04%) фактически однозначно решает вопрос в пользу его природного происхождения (Обжиров, 1979; Обжиров и др., 2007);

– в составе газа свободных газовыделений, суфляров, выбросов газа, выбросов угля и газа, других газодинамических явлений в шахтах Партизанского и Сахалинского бассейнов, а также Тавричанского и Подгородненского месторождений установлены изменчивые и аномальные концентрации водорода, варьирующие от 0.24 до 7.82%, что также подтверждает его природный генезис (Обжиров, 1979; Пузырев и др., 1974);

– экспериментальными методами, моделирующими естественные процессы газообразования органического вещества во вмещающих породах и углях в процессе их метаморфизма, доказано образование значительных объемов водорода на низких, средних и высоких его стадиях (Высоцкий, 1979; Соколов и др., 1981).

В настоящей работе обобщены и проанализированы оригинальные результаты авторских данных, отраженных в научно-исследовательских отчетах, имеющих государственные регистрационные номера и, прошедших государственную экспертизу, на основании которой исходные данные о компонентном составе природных газов угольных бассейнов Дальнего Востока и их газоносности признаны достоверными и представительными. Использованы также публикации авторов и литературные источники (Высоцкий, 1979; Гресов и др., 2008; Киселев, 1977; Обжиров, 1979; Обжиров и др., 2007; Пузырев и др., 1974; Соколов, 1971; Соколов и др., 1981), фондовые материалы геолого-газового опробования региона за тридцатилетний период геологоразведочных работ (1978-2008 гг.) с объемом статистической выборки более 6000 представительных газовых проб, прошедших отбраковку по представительности и достоверности опробования в соответствии с действующими

нормативно-методическими документами (Инструкция..., 1977; Методика..., 1988).

ФОРМЫ НАХОЖДЕНИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДОРОДА В УГЛЕНОСНЫХ ТОЛЩАХ

Природные газы угольных бассейнов и месторождений Дальнего Востока находятся в трех основных формах: сорбированном, свободном и водорастворенном состояниях. В угольных бассейнах с развитием многолетней мерзлоты возможна кристаллогидратная форма существования природных газов. Различие форм нахождения газов в углях и вмещающих породах предопределило своеобразное распределение концентрированных и рассеянных тяжелых углеводородов и метана, углекислого газа и окиси углерода, азота и аргона, водорода в угленосных толщах Дальнего Востока. Фазовое состояние газов вследствие их различной сорбируемости и растворимости влияет на распределение отдельных газовых компонентов. Углеводородные газы в сорбированном состоянии содержат повышенные концентрации метана и тяжелых углеводородов. Водорастворенные газы в большей степени насыщены азотом и углекислым газом (иногда сероводородом) по сравнению со свободным газом, который, в свою очередь, обогащен метаном, тяжелыми углеводородами (ТУ) и в ряде случаев водородом и гелием (Высоцкий, 1979; Кравцов и др., 1979; Обжиров, 1979; Обжиров и др., 2007; Соколов, 1971; Угольная..., 1997, 1999, 2004).

По преобладающей форме нахождения природных газов (водорода) в угленосных толщах угольных бассейнов Дальнего Востока выделяются коллекторы двух основных типов: сорбированных и свободных газов.

Сорбированный тип. Водород установлен в 65% газовых проб, отобранных из угольных пластов в концентрациях от тысячных-десятых долей, очень редко – первых процентов (Обжиров, 1979). Низкая водородоносность угольных пластов, обусловленная их поровым объемом (менее 0.1 м³/т.с.б.м, где т.с.б.м – тонна сухой беззольной массы), объясняется высокой миграционной способностью водорода (минимальный размер молекулы Н₂ в ряду газов угольных бассейнов), высокой степенью газоотдачи углей по водороду и низкой сорбционной способностью гумусовых углей, составляющих основной угольный баланс региона. В ряде угольных бассейнов водород является не только примесью, но и одним из основных компонентов газа углей. Это касается прежде всего угольных бассейнов, в которых имеет место развитие углей специфического вещественного и петрографического

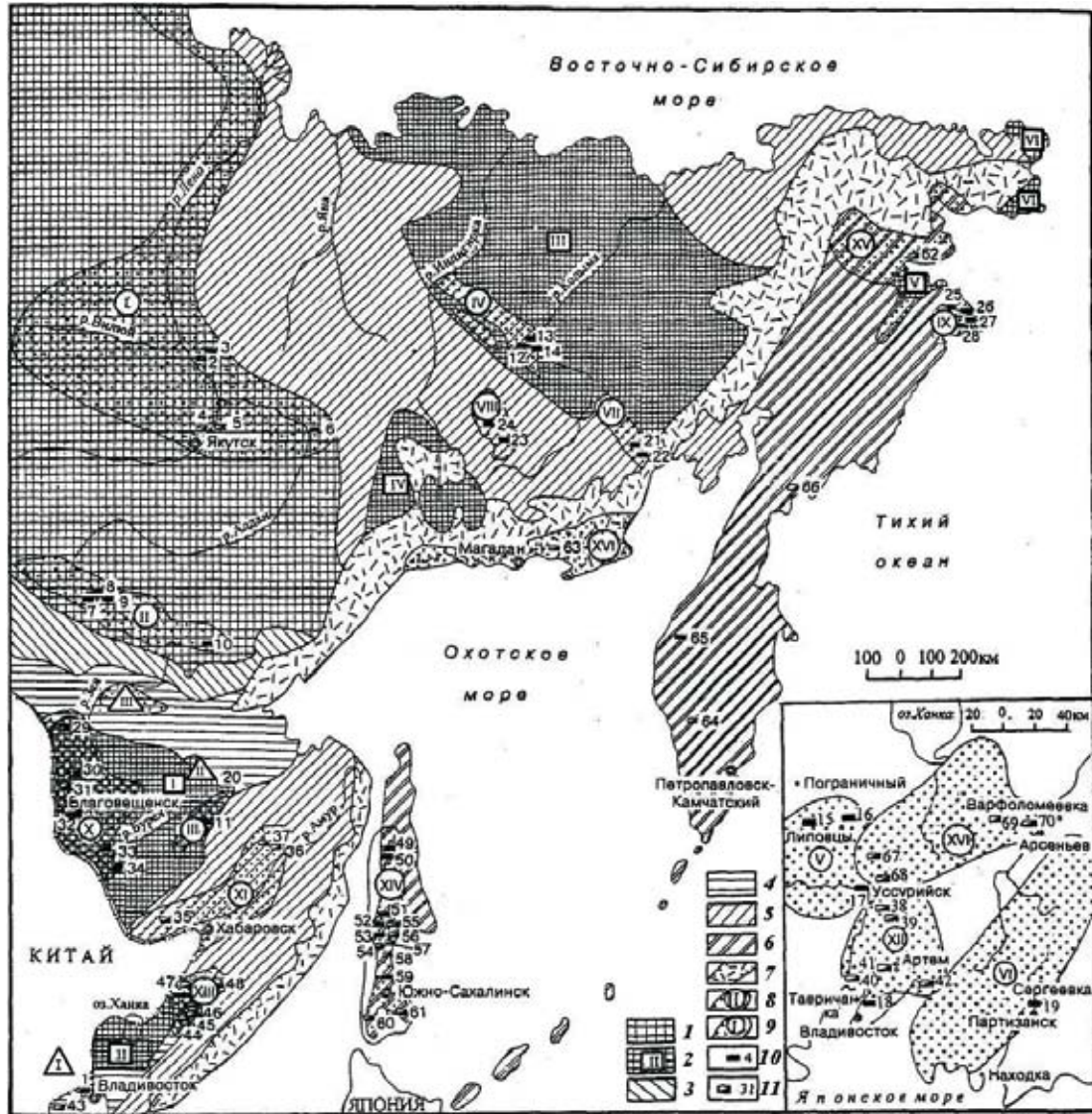


Рис. 1. Тектоническая схема основных угольных бассейнов, месторождений и угленосных районов Востока России (Угольная..., 1997). 1 – Сибирская платформа; 2 – Срединные массивы (в квадратах): I – Буреинский, II – Ханкайский, III – Колымо-Омолонский, IV – Охотский, V – Анадырский, VI – Чукотский; 3-6 – области складчатости: 3 – протерозойской, 4 – палеозойской, 5 – мезозойской, 6 – кайнозойской; 7 – вулканические пояса (верхний мел-неоген); 8 – угольные бассейны (в кружках): I – Ленский, II – Южно-Якутский, III – Буреинский, IV – Зырянский, V – Раздольненский, VI – Партизанский, VII – Омсукчанский, VIII – Аркагалинский, IX – Беринговский, X – Амуро-Зейский, XI – Средне-Амурский, XII – Угловский, XIII – Бикино-Уссурийский, XIV – Сахалинский, XV – Анадырский, XVI – Ханкайский, XVII – Охотский; 9 – (в треугольниках) угленосные районы вне бассейнов: I – Южно-Приморский, II – Гербикино-Огоджинский, III – Верхне-Зейский; 10-11 – основные месторождения (справа – порядковый номер по списку): 10 – каменноугольные, 11 – бурогоугольные. Список месторождений, указанных на схеме: 1 – Монгугайское, 2 – Сангарское, 3 – Белогорское, 4 – Кангалаское, 5 – Хапчагайское, 6 – Джебарики-Хайское, 7 – Нерюнгринское, 8 – Чульмаканское, 9 – Денисовское, 10 – Эльгинское, 11 – Ургальское, 12 – Харангское, 13 – Эрозионное, 14 – Буор-Кемюское, 15 – Ильичевское, 16 – Липовецкое, 17 – Уссурийское, 18 – Подгородненское, 19 – Основная промышленная площадь Партизанского бассейна, 20 – Огоджинское, 21 – Кеновское, 22 – Галимовское, 23 – Нижне-Аркагалинское, 24 – Верхне-Аркагалинское, 25 – Бухты Угольной, 26 – Алькатваамское, 27 – Амаамское, 28 – Бухты Гавриила, 29 – Тыгдинское, 30 – Свободное, 31 – Сергеевское, 32 – Ерковецкое, 33 – Райчихинское, 34 – Архаро-Богучанское, 35 – Ушумунское, 36 – Лианское, 37 – Хурмулинское, 38 – Глуховское, 39 – Бонивуровское, 40 – Тавричанское, 41 – Артемовское, 42 – Шкотовское, 43 – Хасанское, 44 – Крыловское, 45 – Ореховское, 46 – Белогорское, 47 – Бикинское, 48 – Средне-Бикинское, 49 – Мгачинское, 50 – Александровское, 51 – Бошняковское, 52 – Лесогорское, 53 – Шахтерское, 54 – Солнцевское, 55 – Тихменевское, 56 – Вахрушевское, 57 – Вахрушевское-Восточное, 58 – Макаровское, 59 – Лопатинское, 60 – Горнозаводское, 61 – Новиковское, 62 – Анадырское, 63 – Ланковское, 64 – Крутогоровское, 65 – Тигильское, 66 – Корфовское, 67 – Павловское, 68 – Раковское, 69 – Реттиховское, 70 – Чернышевское.

состава: высокие концентрации водорода (более 3-5%) в Беринговском и Анадырском бассейнах (рис. 1) в ряде случаев обусловлены развитием сапропелитовых углей; в Раздольненском (до 25%) — липтобиолитов. Водородоносность углей в этих бассейнах достигает 0.5-1 м³/т.с.б.м, т. е. на порядок выше, чем у гумусовых углей. Значительные количества водорода в газах угольных пластов характерны для углей, представленных в основном блестящими разностями (витрен-клареном), с повышенным содержанием группы структурного витренита (телленита) (Обжиров, 1979).

Концентрации водорода в порах объемов вмещающих пород угольных бассейнов обычно незначительны (0.01-0.1%) аномальные — не превышают 2% (углистые аргиллиты Беринговского, Сахалинского, Раздольненского и Партизанского бассейнов). Водородоносность вмещающих пород не превышает 0.15 м³/т (Обжиров, 1979).

Скопления (залежи) свободного газа в угленосных толщах по условиям образования и перемещения подразделяются на три основных вида:

- рассеянные малоподвижные газы пород и углей с пониженными фильтрационными характеристиками;
- заключенные (окклюдированные) в относительно изолированных порах в свободном и растворенном (в поровых водах) состояниях;
- сорбированные рассеянным органическим и минеральным веществом пород.

Подвижность газов определяется газопроницаемостью пород и углей, обусловленной петрографическими особенностями и степенью литификации. С этим типом на Дальнем Востоке связаны медленные и длительные газопроявления. Они отмечаются на земной поверхности и при вскрытии разведочными скважинами в виде пробулькования газа; в отдельных случаях наблюдается вспенивание промывочной жидкости. Данные газопроявления, как правило, не фиксируются геологической документацией. Скопления газа этого типа относятся к группе генерационных залежей газа, которые отмечаются практически во всех угольных бассейнах Дальнего Востока. Водородонасыщенность (м³/м³ породы) коллекторов этого типа характеризуется низкими показателями (Высоцкий, 1979; Кравцов и др., 1979; Обжиров, 1979).

Скопления подвижных свободных газов, заполняющих трещины, полости и открытую поровую емкость пород и углей в газовых ловушках. Подвижность этих газов (водорода) определяется наличием путей миграции (открытой пористости и трещиноватости, разрывных нарушений, зон трещиноватости, внедрения магматических

пород, скважин, горных выработок и др.). При вскрытии данных залежей свободного газа происходят внезапные кратковременные газовыделения из коллекторов высокой емкости, крупных трещиноватых или групп сообщающихся зон, приуроченных к разрывным и пликативным нарушениям, газ из которых выделяется в объемах сотен, тысяч очень редко — миллионов м³. Газопроявления этого вида отмечались в Угловском, Партизанском, Сахалинском и других угольных бассейнах (рис. 1). Концентрации водорода достигают 21-27%; водородонасыщенность трещинно-поровых и трещинных коллекторов характеризуется относительно высокими показателями (Обжиров, 1979).

В угольных бассейнах с развитием многолетней мерзлоты выделяются скопления свободных газов зон «сухих» таликов. Формирование коллекторов газа осуществляется в условиях расположения подмерзлотной толщи пород выше уровня подземных вод. В этом случае формируется зона «сухих» таликов, а выше лежащая толща многолетнемерзлых пород выполняет роль крышки («экрана»). Скопления газа в коллекторах этого типа характерны для угольных бассейнов Республики Саха Якутия и Северо-Востока. Максимальные концентрации водорода в этих коллекторах в Беринговском бассейне достигают 3.62%, Аркагалинском — 0.24%, Ленском — 2.02%, Зырянском — 2%. Установлено, что изменчивость концентраций водорода является индикаторным показателем положения нижней границы многолетнемерзлых пород. На границе мерзлота — талик концентрации водорода резко увеличиваются в несколько раз (Обжиров, 1979).

Скопления растворенного газа в пластовых и пластово-трещинных водах, циркулирующих в поровых, трещинно-поровых и трещинных коллекторах. Характеризуются величиной газового фактора (удельной газонасыщенностью, см³/л), давлением насыщения пластовых вод (или упругостью), химическим и газо-химическим составом, несколько отличным от состава сорбированных и свободных газов (Беринговский, Ленский, Буреинский, Бикино-Уссурийский бассейны). Концентрации водорода в составе газовой фазы подземных вод незначительны и не превышают по угольным бассейнам Приморья — 0.24%, Сахалина — 0.32%, Северо-Востока — 0.72%, Якутии — 1.02%. Водород характеризуется низкими показателями растворимости и водородонасыщенности подземных вод, не превышающей 2 см³/л (Высоцкий, 1979; Обжиров, 1979).

Скопления (залежи) свободных и растворенных газов пластовых вод генетически могут быть связаны с вмещающей их породой или

относиться к аккумулятивной группе скопленных, возникшей в результате перераспределения газов внутри углевмещающей толщи, миграции из генераторов (углей, углистых пород, газонасыщенных и нефтегазоносных подстилающих отложений и др.) в коллекторы. Это может приводить к удалению метана, водорода, тяжёлых углеводородов и других газов от мест его генерации. Подобное перераспределение природного газа отмечалось практически на всех исследованных угольных бассейнах и месторождениях Дальнего Востока. Формирование газовых залежей аккумулятивного типа зависит от особенностей тектоники месторождений, наличия коллекторов газа, газового «экрана» и водоупора, гидрогеологического и геокриологического режимов и др.

Микрозалежи свободного газа внутри газогенерирующей толщи могут являться переходным звеном между генерационными и аккумулятивными типами газовых скопленных.

Исследованиями установлено, что резко изменчивый характер распределения водорода в угленосных толщах Дальнего Востока и формирование зон с аномальными его концентрациями, обусловлены комплексным влиянием геологических факторов.

ВЛИЯНИЕ ОСНОВНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДОРОДА

Геолого-газовая интерпретация полученных полевых материалов показывает, что основными геологическими факторами, влияющими на современное распределение водорода в угленосных толщах угольных бассейнов Дальнего Востока являются: история геологического развития, тектоника и магматическая деятельность; стадии и типы метаморфизма углей; вещественный и петрографический состав углей; наличие газонасыщенных и нефтегазоносных подстилающих угленосную толщу отложений; гидрогеологические, геокриологические и другие геологические условия.

Основная региональная закономерность истории геологического развития угольных бассейнов региона и распределения водорода в угленосных толщах связана со смещением промышленной угленосности в более верхние стратиграфические горизонты по мере приближения к Тихому океану, в результате чего в шельфовых, прибрежных частях и на внутренних архипелагах расположены месторождения и бассейны наиболее молодого возраста; а при движении в глубь материка возраст угленосности становится более древним. Эта закономерность впервые подмечена А.К. Матвеевым

(1957) на территории СССР. Он установил, что в западном секторе Тихоокеанского подвижного пояса происходит последовательная смена геологического возраста угленосных толщ от перми к юре, затем к мелу, потом к палеогену и неогену в прибрежной и шельфовой частях. В географическом плане (рис. 1) это выражается сменой палеозойской угленосности Сибирской платформы (Ленский бассейн) последовательно зонами юрской угленосности Забайкалья, юрско-меловой угленосностью Якутии, Буреинского бассейна, меловой и сменяющей ее кайнозойской угленосностью окраинной части Дальнего Востока (Нефтегазоносность..., 1978).

Меняется степень метаморфизма углей — от регионального в Ленском бассейне, регионально-термального в Зырянском и Южно-Якутском до регионально-термального и контактово-термального в Омсукчанском, Сахалинском, Партизанском бассейнах с гаммой углей марочного состава от БЗ до А. В тектоническом отношении это выглядит в виде смены простых пликративных складчатых структур более сложными (складки до 6-го порядка — Партизанский бассейн), роста и интенсивности дизъюнктивной нарушенности (до 1000 нарушений на 1 км²) и увеличением сейсмической и вулканической активности. В этом же направлении отмечается нарастание средних (от 0.02-0.12 до 0.24-0.36%) и абсолютных концентраций водорода (до 5-27%) в угленосных толщах угольных бассейнов и их водородоносности (от 0.01 до 0.5 м³/т; в углях — до 1 м³/т.с.б.м) (Обжиров, 1979; Обжиров и др., 2007).

В ряде угольных бассейнов и месторождений Дальнего Востока масштабы образования водорода и водородоносность угольных пластов обусловлены их вещественным и петрографическим составом. Высокие концентрации водорода в угольных пластах (до 3-5%) Беринговского, Анадырского и других бассейнов обусловлены развитием сапропелевых углей, исходным материалом которых являлись липоидные, полимерлипидные, спорополленинные и кутиновые компоненты низших споровых растений, водорослей и животного планктона. На угольных месторождениях Дальнего Востока (Липовецкое, Ильичевское, Сангарское и др.) с развитием угольных пластов, сложенных гуммитами и смоляными липтобиолитами, наблюдаются максимальные концентрации водорода (до 25%). Липтобиолиты являются не только разновидностями углей, активно генерирующими водород в процессе метаморфизма, но и углями с максимальными показателями сорбционной способностью по водороду.

В Раздольненском бассейне (рис. 1) на Ильичевском месторождении были отобраны

126 проб КГН (кернагазонаборников) по угольным пластам для изучения их газоносности (водородоносности) и петрографического состава. В результате статистической обработки 126 парных газовых и петрографических проб выявлена площадная закономерность распределения водорода в угольных пластах в зависимости от содержания в них микрокомпонентов группы лейптинита (Бакалдина, 1985).

В гумусовых углях концентрации водорода не превышали 0.01-0.06% (0.002 м³/т.с.б.м); в углях с содержанием лейптинита (L = 5-30%) – 1.84% (0.16 м³/т.с.б.м); переходного типа (L = 30-50%) – 17.99% (0.36 м³/т.с.б.м) и в рапдописситах (L = 50-100%) – 24-64% (более 0.5 м³/т.с.б.м).

Коэффициент корреляции (r) между процентным содержанием в углях лейптинита и водорода составляет 0.6; между процентным содержанием лейптинита и водородоносностью угля (м³/т) – 0.32. Показатели корреляции указывают на тесную взаимосвязь (в %) содержания лейптинита и водорода в углях и относительно слабую – между процентным содержанием лейптинита и водородоносностью (м³/т) углей. Надежность определения (r) оценивается по его стандарту:

$\sigma = 1 - r^2 : \sqrt{N}$, где N – объем выборки; соответствует в первом случае 0.07; во втором – 0.09; т. е. $|0.60| : 0.07 > 3$ и $|0.32| : 0.09 > 3$ (Бакалдина, 1985). Исходя из расчетных параметров, можно сделать заключение, что определение (r) в данном случае является надежным.

На водородоносность угленосных отложений оказывает влияние их степень метаморфизма. Исследованиями установлено, что основная масса УВГ, водорода, углекислого газа образовалась в процессе метаморфизма угля и органического вещества во вмещающих породах. Это положение признается большинством исследователей газоносности угольных бассейнов и не вызывает в общем-то сомнений. Дискуссионным явля-

ется вопрос о масштабах газообразования при переходе углей от одной степени метаморфизма к другой. По данным В.А. Успенского, при образовании из углей марки Д одной тонны антрацита выделилось около 150 м³ метана; Г.Д. Лидина – 200 м³; В.П. Козлова и Л.В. Токарева – 250 м³. По данным В.М. Голицына, Б.М. Зимакова, В.Т. Хрюкина, в процессе преобразования каменных углей разных марок (начиная от Д) генерируется метан в следующих количествах (м³): до образования 1 т углей марок Ж – 120-170; К – ОС – КС – 180-230; Т – 200-270 и ПА – А – 300-400 м³ метана (Угольная..., 2004).

С этих позиций интересны экспериментальные исследования по моделированию процессов газообразования при углефикации В.Л. Соколова с соавторами (1981) (табл. 1). По данным этих исследователей в процессе преобразования 1 т углей разных марок (начиная от Б-Д до ПА-А) генерируется 221 м³ метана и 68.5 м³ водорода.

В соответствии с этой моделью процесс газообразования, в том числе водорода, в рассмотренном цикле углефикации отчетливо разделяется на три различных этапа. В результате полученных нами данных модель газообразования в угольных бассейнах Дальнего Востока выглядит следующим образом.

Первый этап соотносится со средне-поздне-буроугольной (Б2-Б3) и переходной (БД-Д) к каменноугольной стадиям регионального метаморфизма (Бикино-Уссурийский, Угловский, Анадырский бассейны; буроугольные месторождения Сахалинского бассейна). Этап отличается наиболее интенсивной генерацией газов, в составе которых доминирует углекислый газ (до 70-90% общего объема природного газа). Долевое участие метана, его гомологов (УВГ) и водорода на этом этапе относительно невелико: 6-19 и 3.3-8% (рис. 2, табл.1), соответственно, но абсолютные его количества значительны. Модель газообразования подтверждает-

Таблица 1. Состав и объем экспериментально полученных газов (Соколов и др., 1981).

Газы	Единицы измерения	Стадии метаморфизма								
		Б	Д	Г	Ж	К	ОС	Т	ПА	А
УВГ	%	6	19	38	66	80	37	32	71	71
	мл	6970	3900	3900	2800	2070	750	1000	3450	5400
СН ₄	%	5.2	15	18	21	2	3	32	69	71
	мл	5520	3050	1800	900	60	50	1000	3350	5400
ТУ	%	0.8	4	20	45	78	34	–	2	–
	мл	1450	850	2100	1900	2010	700	–	100	–
Водород	%	3.3	8	9.5	2	3	18	14	–	2
	мл	3025	1700	1000	80	80	350	455	–	160
Азот	%	0.8	1	3.5	16	6	17	19	19	6
	мл	665	340	370	660	160	350	600	950	440
СО ₂ +СО	%	89.9	72	51	16	11	28	37	10	21
	мл	66100	14700	5100	660	290	550	1000	450	1600



Рис. 2. Динамика выделения окиси и двуокси углерода, УВГ и водорода в опытах с гумусовыми углями последовательного углефикационного ряда.

ся сверхкатегорным газовым режимом по углекислому газу и метану бурогольных шахт Дальнего Востока (более 15 м³/т.с.д., где т.с.д. — тонна суточной добычи).

Второй этап охватывает широкий диапазон каменноугольной стадии углефикации от стадий метаморфизма Д — Г до ОС включительно (Буреинский, Ленский, Зырянский, Беринговский, Южно-Якутский, Аркагалинский, Партизанский, Раздольненский бассейны; каменноугольные месторождения Сахалинского бассейна — геологические объекты с развитием регионального, регионально-термального метаморфизма углей). Состав генерирующей газовой фазы на этом этапе предполагает наличие нефтепроизводящего потенциала у гумусовых углей, который реализуется, главным образом, на стадиях Ж — К — ОС. Этот потенциал существенно возрастает с увеличением лейптинитовой части в составе угля. Долевое участие метана, его гомологов (УВГ) и водорода на этом этапе значительно: до 80 и 18% соответственно (рис. 2), абсолютные его количества — те же.

Третий этап газообразования соответствует стадиям Т — ПА — А, приурочен в основном к угольным бассейнам с развитием регионально-термального и контактового метаморфизма угольного вещества (Подгородненское, Суражевское, Синегорское, Монгугайское месторождения; Партизанский, Омсукчанский бассейны; Бошняковское, Лесогорское и Шахтерское месторождения Сахалинского бассейна). На этом этапе возрастает интенсивность конденсации ароматических ядерных структур с отрывом сохранившихся периферийных, главным образом метильных групп. На данном этапе установлена генерация углекис-

лого газа, метана и частично водорода.

Таким образом, основное количество водорода образовалось на стадии регионального (БД — ГЖ) и регионально-термального (К — ОС — Т) метаморфизма угля.

Анализ значений современной газоносности угольных пластов бассейнов Дальнего Востока и сравнение с экспериментальными данными газообразования при метаморфизме угля показывает, что сохранность метана в угленосных толщах составляет всего 5-15%; водорода — на порядок и более ниже (Бакалдина, 1985; Обжиров, 1979; Угольная..., 1997, 1999, 2004).

Тектонические нарушения и трещиноватые зоны (по влиянию на распределение водорода и формирование его аномальных скоплений в порово-трещинных и трещинных коллекторах) подразделяются на следующие основные группы:

— дизъюнктивы, характеризующиеся разрывом сплошности пластов, при которых одна часть пласта перемещается относительно другой (рис. 3) с образованием сдвояния или зияния (взбросы, надвиги, реже сбросы). Концентрации Н₂ в свободных скоплениях газа в трещинных коллекторах, образованных данными типами тектонических нарушений — максимальные в регионе (Партизанский бассейн — до 27%; Сахалинский — 21.2% и др.);

— крупные пликативные нарушения (в основном антиклинальные, реже синклиналильные складки), в пределах центральных и замковых частях которых отмечаются максимальные концентрации водорода (до 8-9%), а так же наличие значительного количества залежей свободного газа в купольных структурах Партизанского (рис. 3), Ленского и других бассейнов;

– трещиноватые зоны и нарушенность, связанные с внедрением пластовых интрузивных тел (рис. 3). В случае «слепого» залегания они выполняют роль «экрана», затрудняющего миграцию УВГ и водорода к поверхности, благоприятствуют формированию локальных микрозалежей свободного газа с высокими содержаниями водорода, достигающими 6-8%;

– мелкие пликативные нарушения и внутри пластовые тектонические образования Подгородненского, Тавричанского месторождений, Партизанского и Сахалинского бассейнов, в пределах развития которых формируются локальные скопления свободного газа и участки угольных пластов с повышенными концентрациями водорода (до 4-6%);

– зоны криогенной трещиноватости и «сухих» таликов на контакте мерзлота – талик, в которых, по нашему мнению (Обжиров и др., 2007), возможно образование газов в газогидратной форме (Беринговский, Анадырский, Ленский, Аркагалинский, Зырянский бассейны; рис. 1). Бассейны характеризуются интенсивным развитием свободных газопроявлений, связанных с вскрытием именно данных зон. В ряде случаев в

этих зонах установлены залежи свободного газа с высокими концентрациями водорода – до 2-4%.

Магматическая деятельность в угольных бассейнах Дальнего Востока внесла определённые коррективы в распределение водорода в угленосных толщах. В процессе своего внедрения магматические расплавы привнесли значительные объёмы магматогенного газа, который частично аккумулировался во вмещающих породах кровли угольных пластов Партизанского (рис. 3) и Омсукчанского бассейнов; Бошняковского, Лесогорского и Шахтерского месторождений Сахалинского бассейна.

Основным фактором влияния магматических расплавов на вмещающие породы и угольные пласты является повышение температуры угленосной толщи. При термометаморфизме угля образовалось значительное количество УВГ, водорода, углекислого газа, окиси углерода и других газов. Высокая миграционная способность водорода и низкая его сорбируемость углем ставят под сомнение длительное присутствие H_2 в угленосных толщах. К настоящему времени даже хорошо сорбируемый метан в угольных бассейнах Дальнего Востока на исследованных

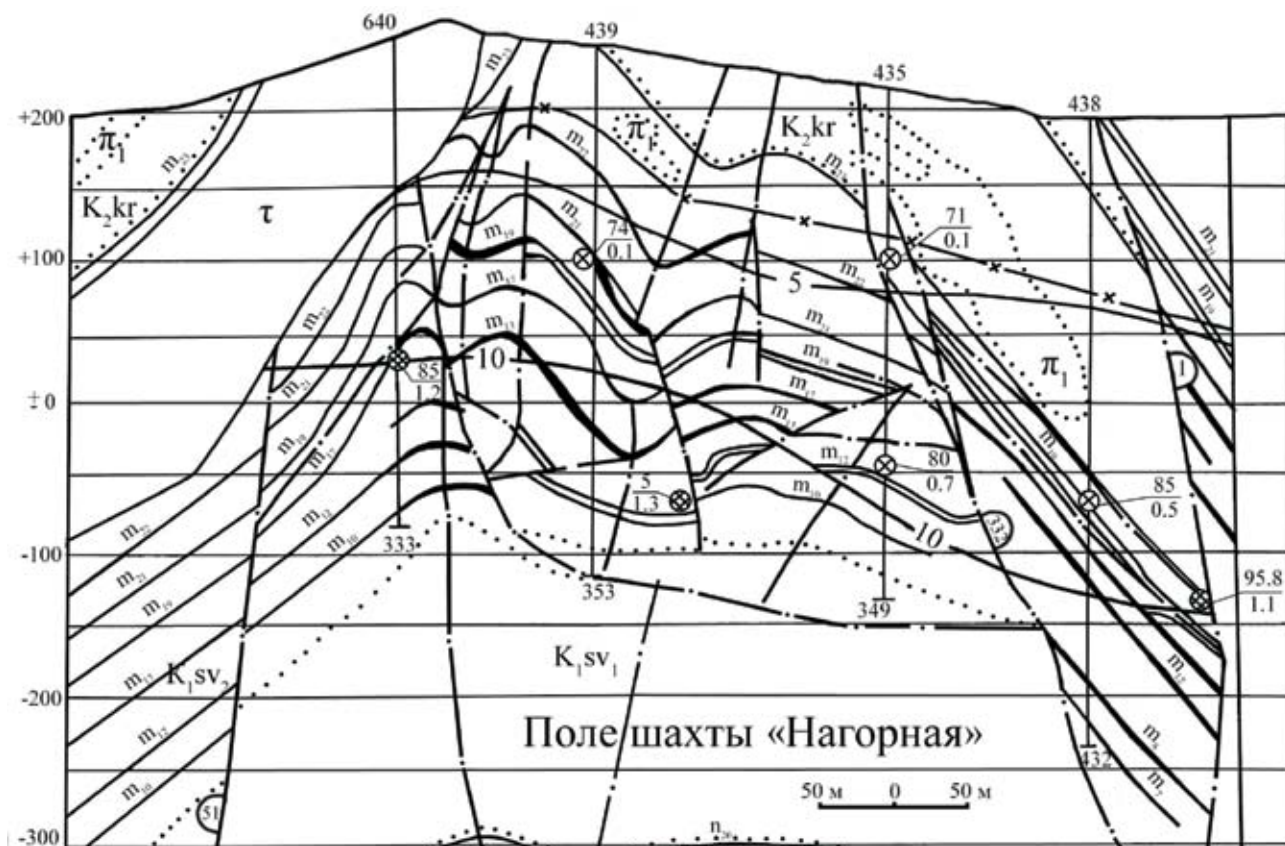


Рис. 3. Геолого-газовый разрез IV–IV по полю шахты Нагорная Партизанского бассейна: K_{1sv1} – угленосные отложения северосучанской свиты; K_{1st2} – угленосные отложения старосучанской свиты; τ – дацит; π_1 – кварцевый порфир. В квадрате: концентрации водорода в газовых ловушках, %. Кружки с косым крестом – свободные метанопроявления, с двойной штриховкой – суфляры (в числителе – содержание CH_4 в угольных пластах, %; в знаменателе – CH_4 , m^3/min).

глубинах (до 1.2-1.5 км) в основной своей массе мигрировал в атмосферу. По-видимому, основная масса водорода в угленосных толщах угольных бассейнов региона в зонах его аномальных концентраций имеет миграционный характер и связана с его поступлениями из подстилающих газонасыщенных, нефтегазоносных отложений и глубинными процессами.

Повышенная миграционная способность газов (особенно водорода), разнообразие форм газопереноса в природной среде, комплексное влияние на процессы миграции указанных геологических факторов, таких как тектоническая нарушенность, магматическая деятельность, гидрогеологические и геокриологические условия, сейсмичность и др., приводят к формированию в угольных бассейнах Дальнего Востока полигенных УВ-скопления, показатели которых подчиняются правилам аддитивности, т. е. образования путем последовательного накопления УВ (в том числе водорода в различных концентрациях) разного состава и фазового состояния при пересечении ловушки разных генетических зон (по разрезу). Особенно наглядно это отмечается в угленосных отложениях угленефтегазоносных бассейнов Дальнего Востока (рис. 4), где продукты генерации разных газоматеринских толщ вследствие указанных процессов и влияния геологических факторов, суммируются, а генетические особенности газовой фазы как бы сглаживаются. В Сахалинском, Верхне-Буреинском и Анадырском

бассейнах газонефтематеринские и угленосные формации залегают совместно, образуя углегазо-нефтематеринские формации; чередуются в разрезе и довольно часто переходят одна в другую по площади; в Ленском, Южно-Якутском и других – подстилают угленосную толщу (рис. 4).

Для региона в целом установлена повышенная, а в ряде случаев и аномальная водородонасыщенность газовых и нефтегазовых формаций. Так, в составе газа нефтематеринской дубликанской свиты угленосной ургальской серии (рис. 4) Верхне-Буреинского нефтегазоносного бассейна концентрации водорода достигают 20% и более (табл. 2). Газы Вилюйской синеклизы (Ленно-Вилюйского нефтегазоносного бассейна) характеризуются концентрациями водорода до 6-10%, гелия – до 0.5% (Алексеев и др., 1981; Гресов и др., 2008; Киселев, 1977).

В Южно-Приморском угленосном районе (Угловский бассейн, Подгородненское, Суражеское и другие месторождения (рис. 1)) содержание метана в подстилающих угленосную толщу углегазоносных отложениях нижнемелового и верхнетриасового возраста варьирует в пределах от 88 до 99%, водорода – от 0.2 до 10.8%; гелия – до 0.16%. Концентрации гелия в угленосных отложениях Подгородненского месторождения достигают 0.13%; Тавричанского и Артемовского – 0.11%. Отсутствие в угленосных толщах радиоактивных источников на этих месторождениях указывает на миграцию гелия (вероятнее всего, и водорода) из фундамента и на

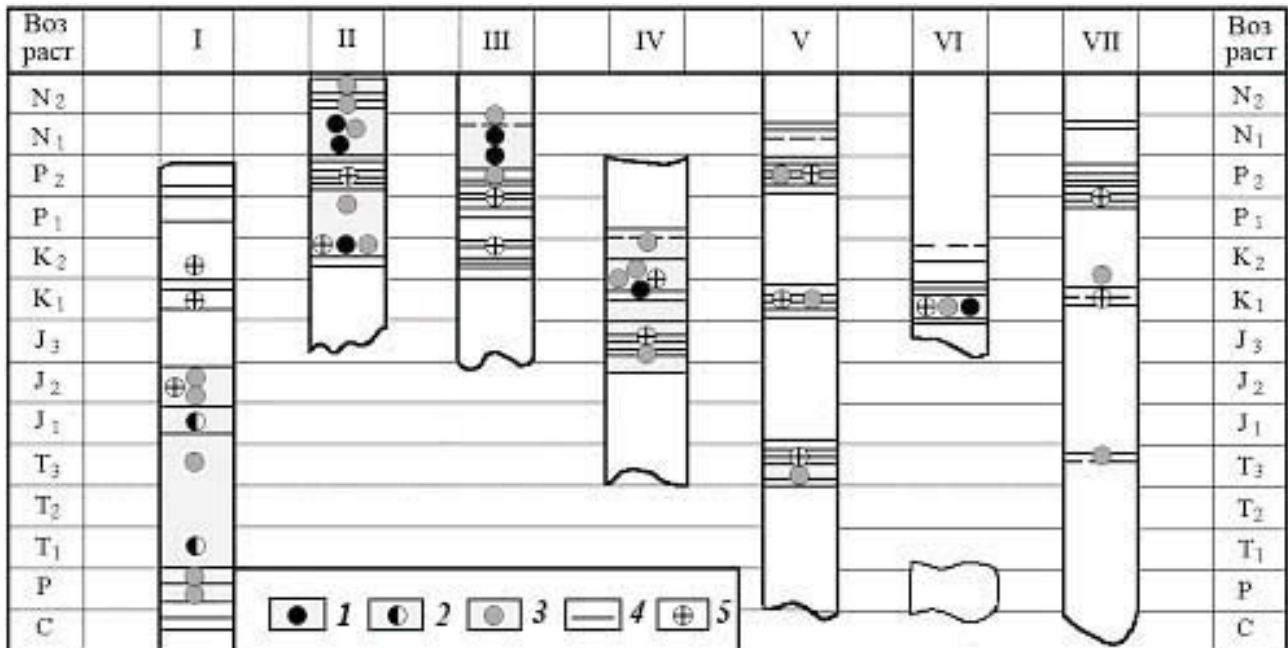


Рис. 4. Угленосность и нефтегазоносность углегазовых и угленефтегазоносных бассейнов Дальнего Востока (Обжиров и др., 2007): 1 – нефть и нефтепроявления; 2 – газоконденсат; 3 – газ; 4 – уголь; 5 – промышленные залежи угольного метана. Углегазовые и угленефтегазоносные бассейны: I – Лено-Вилюйский; II – Анадырский; III – Беринговский; IV – Верхне-Буреинский; V – Угловский; VI – Партизанский; VII – Алчано-Бикинский.

Таблица 2. Качественный состав свободных газовыделений по скважине I – ПР Верхне-Буреинского угле-нефтегазоносного бассейна (Гресов и др., 2009).

№ горизонта	Компонентный состав газа, %								Газонасыщенность горючих газов, см ³ /л
	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C ₅ H ₁₂	C ₆ H ₁₄	H ₂	CO ₂	
1	68.8	13.7	5.5	2.0	1.5	0.1	8.4	2.6	13.3
2	74.1	9.6	6.6	2.5	3.4	0.9	2.9	2.0	18.5
3	11.0	21.2	15.0	10.2	12.3	3.0	27.3	2.8	45.6
4	67.8	8.7	9.5	5.8	5.3	2.7	0.2	1.1	46.5
5	64.3	8.9	8.1	6.6	7.5	4.1	0.5	3.2	29.0
6	60.8	9.6	7.9	1.7	6.5	3.1	10.4	1.7	27.1
7	55.9	8.6	7.3	6.5	6.8	3.2	12.0	1.7	16.0
8	29.2	28.3	15.6	9.4	8.9	4.4	4.2	1.0	9.1
9	Глубина 2971 м: CH ₄ = 83.0 %, Σ ТУ = 13.6 %; гелий = 0.013 %, H ₂ = 3.4 %								

его глубинное происхождение (Обжиров, 1979).

Изотопные исследования углерода метана и углекислого газа, выполненные в указанных угле-нефтегазоносных бассейнах, также подтверждают факт миграции газов подстилающих газоносных и нефтегазоносных формаций в угленосные толщи, роль разломов и крупных тектонических нарушений в процессе газопереноса (Алексеев и др., 1981; Обжиров, 1979).

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДОРОДА

Привиденные рассуждения говорят о полигенетическом составе природного газа угленосных толщ региона. Подстилающие углегазоносные отложения, газоносные, нефтегазоносные формации являются, по-видимому, не только горизонтами генерации и локализации УВГ и водорода, но и источниками их поступления по зонам крупных тектонических нарушений в угленосные толщи. Исходя из этого, можно заключить, что по отношению к угленосным толщам угольных бассейнов Дальнего Востока можно выделить два основных типа водорода – сингенетичный и миграционный.

К сингенетичному типу относятся:

– водород, образовавшийся в процессе диагенеза за счет различных биохимических реакций, – это H₂ начальной стадии формирования угленосных толщ (начальный период I этапа газообразования), – в настоящее время в угленосных толщах отсутствует или присутствует в виде микропримесей (0.001-0.01%);

– водород, образовавшийся при региональном метаморфизме (I этапа газообразования); характеризуется низкой сохранностью в угленосных толщах и присутствует, как правило, в виде примесей (0.01-1%); повсеместным развитием на глубоких горизонтах и прифундаментной части, в зонах крупных тектонических нарушений и разломов, иногда в высоких концентрациях, достигающих 5-10%;

– водород, образовавшийся при регионально-термальном метаморфизме (II этапа газообразования); повсеместно присутствует в виде примесей (0.01-1%); на ряде месторождений – один из основных газовых компонентов в концентрациях до 25%; при среднем вариационном ряде содержания H₂ – 1-10%;

– водород, образовавшийся при термальном (контактовом) метаморфизме (III этапа газообразования); развит повсеместно на месторождениях с интенсивным развитием магматической деятельности. Распределение H₂ характеризуется резкой изменчивостью, наличием зон аномальных концентраций (≥ 10-20%);

– водород, образовавшийся при радиолизе подземных вод угленосных толщ под воздействием радиоактивных излучений. По данным В.А. Соколова (1971), в 1 км³ породы при кларковом содержании радиоактивных элементов за 200 млн лет образовалось около 2-3 млн м³ водорода, который в основном рассеялся в процессе газообразования.

Анализ значений газоносности угольных пластов бассейнов Дальнего Востока показывает, что сохранность метана в угленосных толщах составляет всего 5-15%; водорода – на порядок и более ниже. По-видимому, сингенетичные углеводородные газы и водород в основной своей массе мигрировали в атмосферу.

К миграционному типу относятся:

– магматический водород, связанный с внедрением в угленосную толщу интрузивных образований; подразделяется на древний, привнесенный в угленосную толщу при внедрении интрузий (совозрастных с угленосной толщей временем), и субсовременный, мигрирующий из глубинных магматических очагов или связанный с неоматизмом. С магматической деятельностью и глубинными процессами дегазации Земли, по всей вероятности, связано распределение значительной части водорода угленосных и подстилающих их толщ;

– водород, образовавшийся на глубоких горизонтах при разложении подземных вод под влиянием α -излучения. Радиолиз органического вещества пород дает CO_2 , CH_4 , CO , H_2 и жидкие УВ. Метан, в свою очередь, разлагается на этан и водород. Жидкие и твердые УВ разлагаются с выделением CH_4 и H_2 . В количественном отношении радиолитическое образование H_2 весьма незначительно, и поступление его в угленосные толщи носит очень ограниченный характер (Соколов, 1971).

Водород, мигрирующий из подстилающих углегазоносных отложений, газовых и нефтегазовых формаций составляет, по-видимому, основную водородоресурсную базу угольных бассейнов Дальнего Востока в настоящее время.

К возможным техногенным источникам водорода относятся:

1. При проведении газового анализа проб угля и вмещающих пород, отобранных в КГН и герметические сосуды, в Южно-Якутском бассейне (угли марочного состава К–ОС) фиксировались аномальные концентрации H_2 (до 4%) и CO (до 0.24%). При проведении ревизионных работ было установлено, что все пробы газа были отобраны в условиях жесткой термодегазации в температурном режиме до 95°C и вакуумирования 7–10 мм рт.ст. При снижении T до 80°C и параметров вакуумирования в два раза (в соответствии с действующими нормативно-методическими документами) содержание водорода резко снизилось – вариационный размах опробования (28 проб) по H_2 составил 0.12–0.20%; окись углерода отсутствовала (Бакалдина, 1985).

2. На Бикинском и Горнозаводском (угли марок БЗ) бурогольных месторождениях дегазация проводилась также в соответствии с действующими нормативно-методическими документами. В процессе газоаналитических работ были установлены высокие концентрации H_2 и CO на Бикинском месторождении до 3.6 и 0.6% соответственно, и на Горнозаводском – 3 и 0.2% аналогично. С целью выявления причин аномальности были проведены дополнительные заверочные газоопробовательские работы и изменены параметры бурения (нагрузки на забой были снижены на 30%) и термодегазации (температурный режим снижен с 80 до 60°C). По данным 20 проб, отобранных на Бикинском месторождении в этом режиме, концентрации водорода изменялись от нулевых значений до 0.28%; окись углерода присутствовала в одной пробе (0.0002%). Аналогично на Горнозаводском месторождении по 12 пробам: H_2 от 0.1 до 1.2%; CO – не установлена (Бакалдина, 1985). Но при этом следует заметить, что при применении

более «мягких» термодинамических условий извлечения газа из угленосных отложений водород в газе все равно присутствует, что говорит о его природном происхождении.

3. Генетические газогеохимические особенности распределения водорода, гелия и углеводородных газов в угольных бассейнах Дальнего Востока позволяют отнести их к мобильным газо-геодинамическим системам, в которых в настоящее время происходят интенсивные процессы газопереноса и миграции газов различного генезиса в условиях межформационных газовых связей как в самой угленосной толще, так и с подстилающими углегазонасыщенными отложениями и нефтегазоматеринскими формациями.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Водород в угленосных отложениях угольных бассейнов Дальнего Востока установлен в составе природного газа вмещающих пород, угольных пластов, газовой фазы подземных вод и свободных газопроявлений где он присутствует в виде постоянных микропримесей, примесей и основного газа в концентрациях от 0.001 до 27%.

2. Основная масса водорода угленосных формаций образовалась в естественных (природных) условиях, а изменчивый и аномальный характер его распределения обусловлен комплексным влиянием геологических факторов, характерных для угольных бассейнов и месторождений Дальневосточного региона.

3. Основными геологическими факторами, влияющими на распределение водорода в угольных бассейнах Дальнего Востока, являются тектоника и магматическая деятельность; стадии и типы метаморфизма углей; вещественный и петрографический состав углей; наличие газонасыщенных и нефтегазоносных подстилающих угленосную толщу отложений; гидрогеологические и геохронологические условия.

4. В соответствии с разработанной моделью газообразования, в том числе водорода, в цикле углефикации от стадий БД до антрацитов в угольных бассейнах региона выделяются три различных этапа водородообразования

5. Основная масса водорода в угольных бассейнах Дальнего Востока в зонах аномальных его концентраций имеет миграционный характер и связана, в основном, с его поступлениями из подстилающих газонасыщенных, нефтегазоносных отложений и глубинными процессами.

6. Техногенное образование водорода в ряде угольных бассейнов Дальнего Востока обусловлено нарушением параметров бурения, режима термодегазации проб и несоблюдением требований действующих инструкций и методических руководств.

Список литературы

- Алексеев Ф.А., Бодунов Е.И., Лебедев В.С. и др.* Изотопно-геохимическая характеристика нефтей и газов восточной части Сибирской платформы // Органическая геохимия нефтей, газов и органического вещества докембрия / Отв. ред. А.В.Сидоренко, Н.А.Еременко. М.: Наука, 1981. С. 164-175.
- Бакалдина А.П.* Роль метаморфизма углей в формировании их метаноемкости // Природные газы земной коры и месторождений полезных ископаемых. Киев: Наукова думка, 1985. С. 74-86.
- Высоцкий И.В.* Геология природного газа. М.: Недра, 1979. 392 с.
- Гонцов А.А.* О природе водорода в составе газа угольных месторождений // Вопросы геологии, минералогии и геохимии угленосных отложений СССР / Отв. ред. И.И. Шарудо. Ростов-на-Дону: Изд-во Ростовского университета, 1975. С. 113-116.
- Гресов А.И., Обжиров А.И., Шакиров Р.Б.* Ресурсы и перспективы извлечения метана угольных бассейнов юга Дальнего Востока // Вестник ДВО РАН. 2008. № 4. С. 24-31.
- Гресов А.И., Обжиров А.И., Шакиров Р.Б.* Метаноресурсная база угольных бассейнов Дальнего Востока и перспективы ее промышленного освоения / Отв. ред. А.К. Седых. Владивосток: Дальнаука, 2009. 246 с.
- Инструкция по определению и прогнозу газоносности угольных пластов и вмещающих пород при геологоразведочных работах. М.: Недра, 1977. 72 с.
- Карнов А.К.* Водород как индикатор оценки интенсивности процессов коррозии промышленного оборудования // Газовая промышленность. 1971. № 9. С. 42-45.
- Киселев А.Е.* Строение седиментационных мегациклов и закономерная размещенность нефтегазоугленосности (на примере Ленно-Виллюйской провинции) // Цикличность отложений нефтегазоносных и угленосных бассейнов / Отв. ред. А.А. Трофимук. М.: Наука, 1977. С. 112-125.
- Кравцов А. И., Обжиров А.И., Ушаков А.А и др.* Газоносность угольных бассейнов и месторождений СССР. Т. 2. Угольные бассейны и месторождения Дальнего Востока / Отв. ред. А.И. Кравцов. М.: Недра, 1979. 328 с.
- Ларин В.Н.* Гипотеза изначально гидридной Земли. М.: Недра, 1980. 261 с.
- Матвеев А. К.* Угленосные провинции СССР // Тр. лаб. геол. угля. Л.: АН СССР, 1957. Т. 7. 238 с.
- Меняйлов И.А.* Состав вулканических газов на различных этапах вулканической активности // Геодинамика вулканизма и гидротермального процесса / Отв. ред. Г.М. Френт, Л.Н. Барабанов. Петропавловск-Камчатский, 1974. С. 115.
- Методика определения газоносности вмещающих пород угольных месторождений при геологоразведочных работах. М.: Недра, 1988. 96 с.
- Нефтегазоносность и угленосность Тихоокеанского подвижного пояса и Тихого океана. (объяснительная записка к карте). М.: НИИЗарубежгеология, 1978. 230 с.
- Обжиров А.И.* Газогеохимические поля придонного слоя морей и океанов. М.: Наука, 1993. 139 с.
- Обжиров А.И., Попова Г.В.* Газовые и гидрохимические параметры водной толщи желоба Тонга // Океанология. 1986. Т. 31. № 1. С. 78-82.
- Обжиров А.И.* Геологические особенности распределения природных газов на угольных месторождениях Дальнего Востока. М.: Наука, 1979. 70 с.
- Обжиров А.И., Гресов А.И., Шакиров Р.Б. и др.* Метанопроявления и перспективы нефтегазоносности Приморского края. Владивосток: Дальнаука, 2007. 167 с.
- Пузырев В.Н., Умрихин А.Н., Назаренко В.Н. и др.* Газодинамические явления и газовыделения на шахтах Партизанского бассейна. Партизанск: Изд-во ВостНИИ, 1974. 78 с.
- Соколов В.А.* Геохимия природных газов. М.: Недра, 1971. 336 с.
- Соколов В.Л., Симоненко В.Ф., Гуляева Н.Ф.* Экспериментальное изучение газообразования при углефикации // Органическая геохимия нефтей, газов и органического вещества / Отв. ред. А.В. Сидоренко, Н.А. Еременко. М.: Наука, 1981. С. 72-83.
- Таран Ю.А.* Геохимия гидротермальных газов. М.: Наука, 1988. 169 с.
- Угольная база России. Т. 5. Кн. 1. / Отв. ред. В.Ф. Череповский. М.: Геоинформмарк, 1997. 386 с.
- Угольная база России, Т. 5. Кн. 2. / Отв. ред. В.Ф. Череповский. М.: Геоинформмарк, 1999. 638 с.
- Угольная база России, Т. 6. / Отв. ред. В.Ф. Череповский. М.: Геоинформмарк, 2004. 496 с.
- Юаса М.* Подводная гидротермальная деятельность вокруг Японии (на примере акваторий Идзу и Огасавара). ВЦП. № Н-58056. М.: 1988, 124 с.
- Yoshida J.* Origin of gases and chemical equilibrium among them in steams from Matukava geothermal area, Northern Japan // Geochem. J. 1984. № 18. P. 195-202.

ГРЕСОВ и др.

HYDROGEN BEARING IN THE COAL BASINS OF THE RUSSIAN FAR EAST

A. I. Gresov, A.I. Obzhirov, A.V. Yatsuk

V.I. Ilichev Pacific Oceanological Institute FEB RAS, Vladivostok, 690041

The paper describes the problems of natural and industrial genesis of hydrogen in coal basins in the Russian Far East using different data on gas testing. The authors revealed the main geologic features that affect the distribution of natural hydrogen inside coal-bearing rock mass and a certain cause of its industrial genesis.

Keywords: coal basins, hydrogen, genesis, distribution, geological factors, migration, the Far East of Russia.