

НЕФТЕПРОМЫСЛОВОЕ ДЕЛО



**OILFIELD
ENGINEERING**

12.2014



**МОСКВА
ОАО "ВНИИОЭНГ"**

Открытое акционерное общество
"Всероссийский научно-исследовательский институт
организации, управления и экономики
нефтегазовой промышленности"
(ОАО "ВНИИОЭНГ")



ЛАУРЕАТ
ЗОЛОТОЙ МЕДАЛИ SPI
ПАРИЖ ФРАНЦИЯ

НАГРАЖДЕН ПАМЯТНЫМ ЗНАКОМ
"ЗОЛОТОЙ ИМПЕРИАЛ"
ЗА АКТИВНОЕ УЧАСТИЕ
В МЕЖДУНАРОДНЫХ ВЫСТАВКАХ
И ЯРМАРКАХ

Научно-технический журнал
НЕФТЕПРОМЫСЛОВОЕ ДЕЛО

12.2014

Scientific-technical journal
OILFIELD ENGINEERING



НЕФТЕПРОМЫСЛОВОЕ ДЕЛО

Ежемесячный научно-технический журнал

Журнал по решению ВАК Минобразования и науки РФ включен в "Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук".

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Гаеура В.Е. (главный редактор),

Галустьянц В.А. (зам. главного редактора),
Астахова А.Н. (зам. главного редактора),
Антипова И.А., Богатырев А.Г.,
Валовский В.М., Габиров И.А.,
Дарищев В.И., Зейналов Р.Р.
Лысенко В.Д., Мищенко И.Т.,
Салаватов Т.Ш., Хисамов Р.С.

Журнал зарегистрирован в Министерстве Российской Федерации по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций РФ от 04.04.2002 г. Рег. № ПИ 77-12336

СОДЕРЖАНИЕ

РАЗРАБОТКА НЕФТЯНЫХ И ГАЗОНЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

- Кузнецов М.А., Долгов В.А., Шаймарданов М.Н., Щекатурова И.Ш.** Размещение многоствольных горизонтальных скважин при разработке залежей нефти с неоднородными коллекторами..... 5
- Сафиуллин И.Р., Васильев Д.М., Махмутов А.А.** Идентификация линейного динамического объекта как способ прогнозирования эффекта от изменения закачки в нагнетательной скважине 9
- Кузнецов М.А., Черковский Н.Л., Сафиуллин И.Р., Шаймарданов М.Н.** Обоснование необходимого фонда скважин для достижения проектного коэффициента извлечения нефти на основе анализа текущего потенциала работы пласта 13
- Черковский Н.Л., Глебов С.Д., Хисамутдинов Н.И., Щекатурова И.Ш., Махмутов А.А.** Опыт регулирования процесса выработки запасов нефти пласта на основе анализа поскважинной кратности запасов 14
- Назарова Л.Н.** Комплексный критерий для обоснования выделения объектов разработки..... 20
- Новрузова С.Г.** О повышении нефтеотдачи круговой залежи вязкопластичной нефти с учетом геолого-физических условий ее разработки..... 23

МЕТОДЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПЛАСТ И ПОВЫШЕНИЯ НЕФТЕОТДАЧИ

- Никитин В.С., Глебов С.Д., Сагитов Д.К., Махмутов А.А.** Совершенствование методов оценки и планирования геолого-технических мероприятий на базе статистических данных..... 26
- Шагалеев Р.К., Корсуков М.В., Гареев А.М., Новоселова Д.В.** Совершенствование технологии гидроразрыва пластов с целью обеспечения стабилизации продуктивности объектов воздействия во времени..... 29

Журнал издает ОАО "ВНИИОЭНГ"

Генеральный директор **А.Г. Лачков**Ведущие редакторы:
*А.Н. Астахова, И.А. Антипова*Компьютерный набор
*В.В. Васина*Компьютерная верстка *Е.В. Кобелькова*Корректоры:
*Н.В. Шуликина, Н.Г. Евдокимова*Зав. производственно-издательским отделом
*В.И. Черникина*Индекс журнала:
58503 — по каталогу Агентства "Роспечать",
10336 — по объединенному
10337 каталогу "Пресса России".Подписано в печать 14.10.2014.
Формат 84×108 1/16. Бумага офсетная.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 7,14. Уч.-изд. л. 7,26.
Тираж 1500 экз. Заказ № 73. Цена свободная.
ОАО "ВНИИОЭНГ" № 5994.Адрес редакции:
117420 Москва, ул. Наметкина, д. 14, корп. 2.
Тел. редакции: 332-00-35, 332-00-49.
Факс: (495) 331-68-77.
Адрес электронной почты: vniiioeng@vniiioeng.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАСТОВ И СКВАЖИН

Васильев Д.М. Сравнительный анализ методов контроля режимов работы добывающих и нагнетательных скважин Ново-Покурского месторождения..... 35*Попов С.Н.* Вариации прочностных свойств пород ачимовских отложений Уренгойской группы месторождений в зависимости от пористости 38*Черепанов В.В., Меньшиков С.Н., Варягов С.А., Назина Т.М., Бондарев В.Л., Гудзенко В.Т., Миротворский М.Ю.* Происхождение водорода в межколонном пространстве скважин Бованенковского нефтегазоконденсатного месторождения 43

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ ДОБЫЧИ НЕФТИ

Кирдода И.И. Экспресс-метод контроля за работой глубинно-насосной установки с помощью динамограммы 49

ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Никонов А.И., Тупысев М.К., Шаповалова Е.С., Юрова М.П. Геодинамические факторы техногенной оценки воздействия на ландшафт при разработке нефтегазовых месторождений 51

Информационные сведения о статьях 56

Перечень статей, опубликованных в НТЖ "Нефтепромышленное дело" в 2014 году 64

CONTENTS

DEVELOPMENT OF OIL AND GAS-OIL FIELDS

<i>Kuznetsov M.A., Dolgov V.A., Shaimardanov M.N., Schekaturova I.Sh.</i> Placement of multilateral horizontal wells while developing oil deposits with heterogeneous reservoirs	5
<i>Safiullin I.R., Vasiliev D.M., Makhmutov A.A.</i> Identification of a linear dynamic object as some technique of predicting effect after change of injection in an injection well	9
<i>Kuznetsov M.A., Cherkovsky N.L., Safiullin I.R., Shaimardanov M.N.</i> Substantiation of the required fund of wells to reach the projected oil recover factor based on the analysis of current operational potential of a formation	13
<i>Cherkovsky N.L., Glebov S.D., Khisamutdinov N.I., Schekaturova I.Sh., Makhmutov A.A.</i> Experience of regulation of oil reserves extraction out of a formation based on the analysis of well-by-well reserves-to-production ratio.....	14
<i>Nazarova L.N.</i> Comprehensive criteria for substantiation of development objects allocation	20
<i>Novruzova S.G.</i> Some aspects in relation to oil recovery increase of viscous-plastic oil circular deposit with account of geophysical conditions of its development	23

METHODS OF PRODUCING EFFECT ON A DEPOSIT AND RAISING OIL RECOVERY

<i>Nikitin V.S., Glebov S.D., Sagitov D.K., Makhmutov A.A.</i> Perfection of methods applied for planning of geological-technical activities on the basis of statistical data	26
<i>Shagaleev R.K., Korsukov M.V., Gareev A.M., Novoselova D.V.</i> Perfection of a formation hydraulic fracturing technologies providing objects' productivity stabilization in time	29

RESEARCH OF FORMATIONS AND WELLS

<i>Vasiliev D.M.</i> Comparative analysis of the methods applied for operational modes control of production and injection wells of Novo-Pokursky field	35
<i>Popov S.N.</i> Variations of rock strength characteristics of achimovsky deposits of Urengoy group of fields depending on porosity	38
<i>Cherepanov V.V., Menshikov S.N., Varyagov S.A., Nazina T.M., Bondarev V.L., Gudzenko V.T., Mirotvor-sky M.Yu.</i> Hydrogen influent flow into wells' tubing-casing annulus of Bovanenkovsky oil- and gas-condensate field	43

TECHNIQUE AND TECHNOLOGY OF OIL PRODUCTION

<i>Kirdoda I.I.</i> Rapid method of control over the work of a pumping well installation by means of a dynamometer.....	49
---	----

ENVIRONMENT PRESERVATION

<i>Nikonov A.I., Tupysev M.K., Shapovalova E.S., Yurova M.P.</i> Geodynamic factors of technogenic assessment of influence on the landscape while developing oil and gas fields	51
Information on the articles	60

ПРОИСХОЖДЕНИЕ ВОДОРОДА В МЕЖКОЛОННОМ ПРОСТРАНСТВЕ СКВАЖИН БОВАНЕНКОВСКОГО НЕФТЕГАЗОКОНДЕНСАТНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

В.В. Черепанов¹, С.Н. Меньшиков², С.А. Варягов², Т.М. Назина³, В.Л. Бондарев⁴,
В.Т. Гудзенко⁵, М.Ю. Миротворский⁴

(ОАО "Газпром"¹, ООО "Газпром добыча Надым"², Институт микробиологии им. С.Н. Виноградского³ РАН,
ЗАО "НПЦ Геохимия"⁴, ВИНТИ РАН⁵)

На протяжении 2010–2013 гг. ООО "Газпром добыча Надым" проводило работы по определению природы газа в межколонном пространстве (МКП) добывающих скважин Бованенковского НГКМ. При их проведении осуществлялся отбор проб межколонного газа и определялся его качественный и количественный состав, в том числе изотопный состав углерода метана.

Количество скважин, содержащих межколонный газ в разные годы варьировало от 60 до 70 % (табл. 1).

Хроматографический анализ отобранных проб газа показал, что в межколонном пространстве ряда скважин присутствуют повышенные концентрации водорода.

Так, в 2010 г. максимальные его концентрации (12, 17, 20 и даже 79 % об.) были зафиксированы в 5 из 44 опробованных скважинах. Межколонное давление в этих скважинах колебалось в пределах 24...64 кг/см².

Наблюдения за содержанием водорода в МКП скважин показало, что в целом по площади месторождения средние его содержания за четырехлетний период наблюдения с 2010 по 2013 г. снизились с 4,85 до 0,98 % об. (табл. 1, рис. 1). При этом максимальные концентрации по годам уменьшились с 79 до 53, 13, и 10 % об. Количество скважин с уровнями концентраций водорода, превышающими 1,5 и 4 % об., также сократилось.

Таблица 1

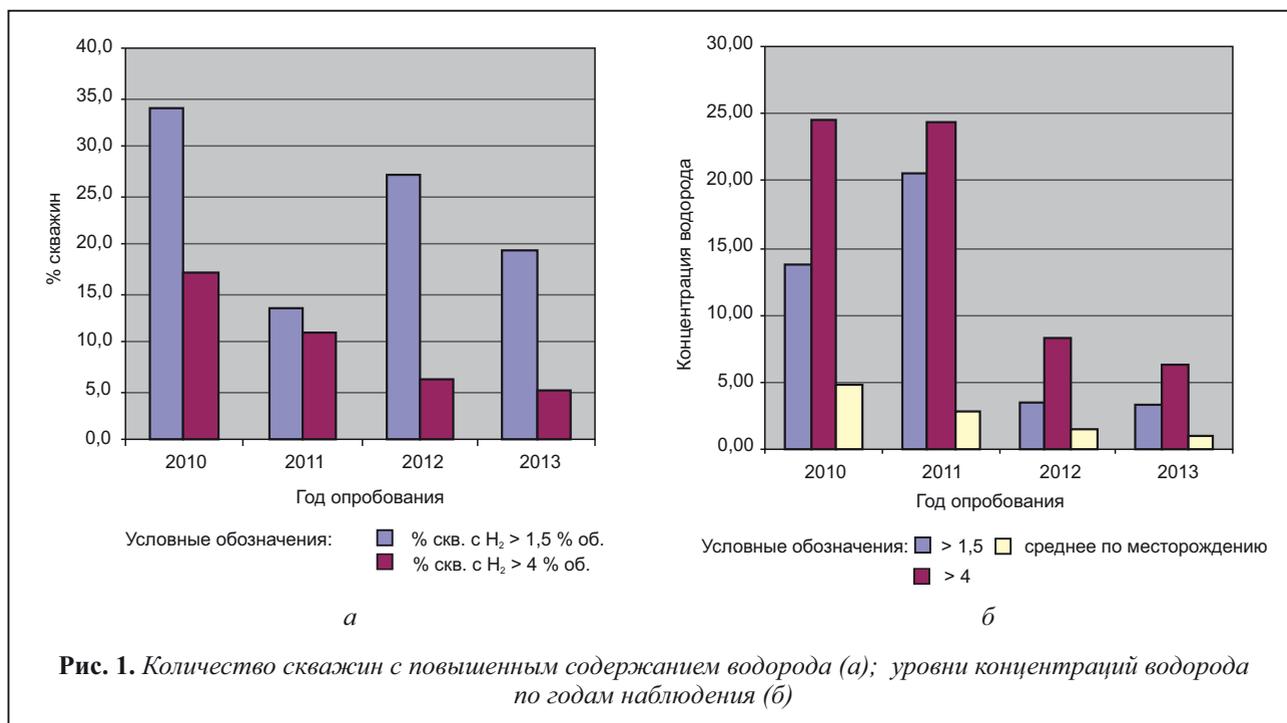
Уровни концентраций водорода и процентное соотношение скважин с различными уровнями концентраций

Показатели	Год опробования			
	2010	2011	2012	2013
Обследовано скважин, шт.	47	145	154	189
% скв. с межколонным газом		60,7	72,1	62,4
% скв. с H ₂ > 1,5 % об.	34,0	13,4	27,0	19,5
% скв. с H ₂ > 4 % об.	17,0	11,0	6,3	5,1
Максимальные концентрации	79,53	53,35	13,20	10,04
Уровни концентраций				
> 1,5	13,72	20,47	3,49	3,29
> 4	24,42	24,35	8,21	6,33
Среднее по месторождению	4,85	2,89	1,59	0,98

Необходимо отметить, что в промышленных залежах содержание водорода не превышает тысячных долей процента [5], поэтому столь высокие его концентрации не могут быть объяснены поступлением водорода в МКП из промышленных залежей.

Авторами были проанализированы возможные версии возникновения повышенных концентраций водорода в МКП скважин.

1. Водород имеет мантийное (глубинное) происхождение. Подразумевается, что вследствие недоста-



точной герметичности колонн некоторых скважин в их МКП может попадать глубинный водород. Считается, что в осадочной толще глубинный водород формирует аномальные концентрационные поля, приуроченные к "геоактивным" зонам – разломам, ослабленным зонам и т. д. Такие зоны обычно имеют определенную пространственную согласованность с морфоструктурными особенностями территории.

С этой целью был выполнен морфоструктурный анализ гидросети – построены карты специфичности гидросети и выделены ослабленные зоны. Анализ положения скважин с повышенными концентрациями водорода не выявил их пространственной приуроченности к выделенным ослабленным зонам. Какая-либо корреляция с установленными на площади месторождения разломами также отсутствует.

Наземная геохимическая съемка, выполненная ЗАО "НПЦ Геохимия" в 2006 г. с целью выявления локальных УВ скоплений в верхней части разреза (ВЧР), не обнаружила зон разгрузки водорода в поверхностных отложениях. Однако это не означает, что водородная дегазация в пределах месторождения не происходит. Она имеет место, но ее масштабы и интенсивность не настолько велики, чтобы способствовать накоплению значительных концентраций водорода в МКП исследованных скважин.

2. Водород попадает в МКП скважин из окружающих пород. Имеется в виду, что при наличии повышенных концентраций водорода в породах, окружающих скважину, в случае нарушения герметичности колонны, в МКП скважины может попадать водород.

В 2010–2011 гг. ЗАО "НПЦ Геохимия" было выполнено опробование бурового раствора 6 добывающих скважин.

Наибольшие его концентрации в пробах бурового раствора были зафиксированы в интервалах развития газогидратов ганькинской свиты на глубинах 120...145 и 265...270 м (0,1 и 0,03 % об., соответственно) и в отложениях нижеберезовской подсвиты на глубинах 360...395 и 430...440 м (2,83 и 0,64 % об.). Вниз по разрезу содержание водорода уменьшалось. Исключение составляет скв. 5100, где наблюдается возрастание концентраций водорода с увеличением глубины опробования (рис. 2).

Таким образом, по данным опробования бурового раствора, концентрации водорода в разрезе осадочных отложений не превышают 2...3 % об., что не может приводить к накоплению столь значительного его содержания в МКП добывающих скважин [3].

3. Водород имеет техногенное происхождение. Здесь рассматривались 2 варианта.

3.1. Водород генерируется в самой скважине вследствие электрохимических реакций, протекающих при бурении скважин.

Известно, что в случае использования оснастки обсадных колонн из алюминиевых сплавов возникают электрохимические реакции с выделением значительного количества водорода [4]. Буровой раствор в этом случае выступает в качестве электролита, катодом служит обсадная колонна, анодом – стенка скважины. При использовании стандартных отечественных технологий бурения и цементирования скважин электрохими-

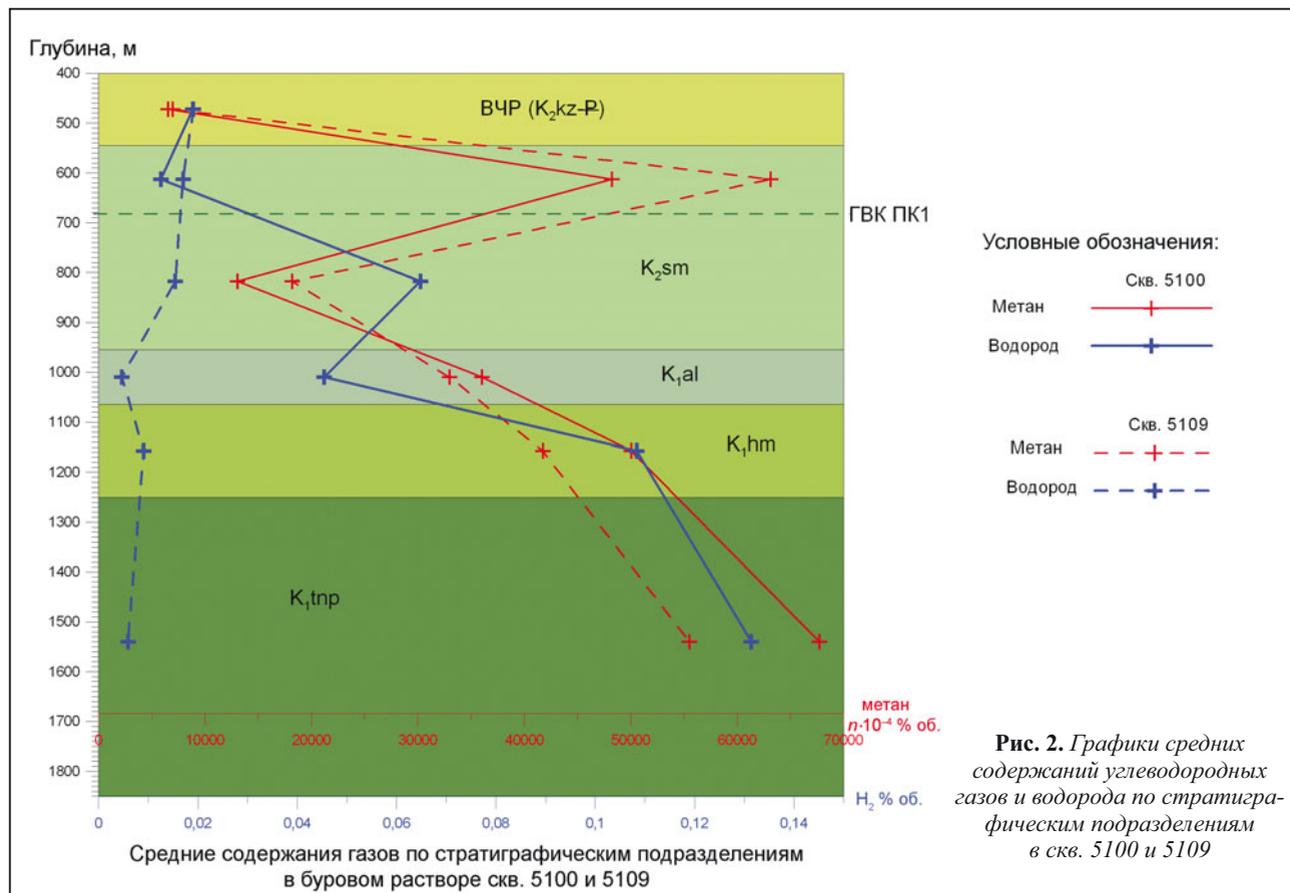


Рис. 2. Графики средних содержаний углеводородных газов и водорода по стратиграфическим подразделениям в скв. 5100 и 5109

ческие факторы обычно проявляются достаточно слабо и в данном случае не рассматриваются.

3.2. Водород имеет биогенное происхождение. Подразумевалось, что используемые при бурении органические добавки к буровому раствору (биополимеры, бактерициды, смолополимеры и другие) могут быть причиной возникновения процессов бактериального брожения и способствуют образованию водорода.

В пользу биогенного происхождения водорода свидетельствуют факты, установленные при опробовании бурового раствора скв. 5100 и 5109 51-го куста.

Так, в скв. 5100 (см. рис. 2) с глубины 750 м (после прохождения сеноманской залежи) содержание водорода увеличивается на порядок – с тысячных и сотых долей объемного процента до десятых долей процента (максимальное содержание 0,734 % об.). Подобного не наблюдалось на остальных опробованных скважинах.

Сравнение геохимических характеристик проб бурового раствора из скв. 5100 и 5109 (см. рис. 2), расположенных на одной кустовой площадке в одинаковой геологической обстановке, показало абсолютно различный характер распределения водорода по разрезу этих скважин, притом что кривые средних концентраций углеводородных компонентов оказались практически одинаковыми. Подобная ситуация, вероятнее всего, связана с различиями в технологии бурения и может быть, по мнению авторов, объяснена биогенной генерацией водорода.

Для выяснения возможности биогенного происхождения водорода из компонентов бурового раствора был выполнен комплекс исследований, который включал в себя отбор двух проб бурового раствора с разных глубин скв. 5109, 5206, 5508, 5608 и 6503 (табл. 2).

Глубина отбора проб бурового раствора (на микробиологический анализ)

№ п/п	Номер скважины	Глубина отбора пробы, м	Время отбора пробы
1	5608	605	14.08.2012 г.
2	6503	675	15.02.2012 г.
3	5206	1132...1135	15.08.2012 г.
4	5109	1650	11.08.2012 г.
5	5508	1743...1745	14.02.2012 г.
6	5109	1825	13.08.2012 г.

В дальнейшем одна проба подвергалась термовакuumной дегазации с определением концентраций углеводородных (УВГ) и неуглеводородных (НУВГ) газов, в том числе водорода. Состав отдегазированного газа иллюстрируется данными табл. 3.

Из данных табл. 3 следует, что содержания водорода в буровом растворе рассматриваемых скважин различны.

Вторая проба отбиралась для выполнения микробиологического анализа и определения численности микроорганизмов разных физиологических групп, в том числе возможных продуцентов молекулярного водорода [8].

По результатам микробиологического анализа установлено, что в анаэробной микрофлоре проб преобладают бактерии с бродильным типом метаболизма, численность которых по данным микроскопических исследований составляет 10^6 – 10^7 кл./мл (табл. 4).

Кроме того, в пробах бурового раствора выявлены микроорганизмы-потребители молекулярного водорода

Таблица 3

Содержание углеводородных и неуглеводородных газов в пробах бурового раствора

№ п/п	Номер пробы	Глубина отбора пробы, м	Содержание УВГ, 10^{-4} % об.				Содержание НУВГ, % об.		
			Метан	Предельные C_2-C_4	Непредельные C_2-C_4	Сумма C_5-C_6	Водород	Углекислота	Другие НУВГ
1	5608	605	6040	28,63	1,21	45,78	0,00070	11,3	89,4
2	6503	675	134000	3299	2,75	85,42	0,00057	11,5	74,7
3	5206	1132...1135	17800	87,55	1,00	23,50	0,00138	8,05	90,2
4	5109	1650	12500	1015,14	1,68	56,66	0,00586	8,6	90,1
5	5508	1743...1745	6820	685,8	2,20	16,36	0,00546	3,06	97,2
6	5109	1825	36300	1643,56	1,93	67,62	0,01660	12,1	85,1

Таблица 4

Численность аэробных и анаэробных микроорганизмов (кл./мл) в пробах бурового раствора

№ п/п	Номер скважины	Глубина отбора пробы, м	Органотрофы (пептон + глюкоза + O_2)	Бродильные бактерии (пептон + глюкоза)		Сульфатредуцирующие бактерии (ацетат + H_2 + SO_4^{2-})	Метанобразующие археи (ацетат + H_2)
			Данные микроскопии	Данные микроскопии	По образованию H_2 в среде	По образованию H_2S в среде	По образованию CH_4 в среде
1	5608	605	10^8	10^7	<10	$>10^5$	0
2	6503	675	10^8	10^7	10^3	$>10^4$	10
3	5206	1133	10^6	10^7	10^7	10^3	<10
4	5109	1650	10^5	10^6	10^5	$>10^4$	<10
5	5508	1744	10^4	10^7	10^4	$>10^5$	0
6	5109	1825	10^6	10^7	10^3	$>10^4$	10

да: сульфатредуцирующие бактерии, способные образовывать сероводород за счет восстановления сульфатов численностью от 10^3 до 10^5 кл./мл и более, и метанобразующие археи (в четырех из шести исследованных проб).

Для выяснения того, какие именно реагенты, добавленные в буровой раствор, способствовали образованию водорода, в накопительные культуры, полученные при посеве бурового раствора или бурового раствора, разведенного в 10 раз, были добавлены различные комбинации этих реагентов. Для посева использовали следующие накопительные культуры, выросшие в среде для бродильных бактерий: скв. 5109, глубина 1825 м (посев без разведения), скв. 5109 глубина 1650 м (5-е разведение), скв. 5206 (5-е разведение), скв. 5508 (4-е разведение), скв. 5608 (1-е разведение) и скв. 6503 (3-е разведение). Критериями для выбора накопительной культуры в качестве посевного материала было образование молекулярного водорода (скв. 5109, глубина 1825 м, скв. 5109, глубина 1650 м, скв. 5508, 6503) или накопление большой биомассы (скв. 5206, 5608).

Реагенты вносили в среду в разных сочетаниях, в концентрациях, указанных в табл. 5. Было приготовлено 10 вариантов сред на каждую накопительную культуру, всего 60 вариантов.

Газовая фаза во флаконах для бродильных бактерий была представлена аргоном.

Посевы инкубировали при комнатной температуре (22...24 °С) в течение 28 сут. Все посевы исследовали в световом микроскопе Olympus с фазово-контрастным устройством, при увеличении 100×10. Рост бродильных бактерий оценивали, измеряя образование водорода. Контролем служила минеральная среда лишённая органических субстратов, в которой посевной материал (5 % об./флакон) служил как субстратом, так и источником заражения.

Концентрации реагентов, вносимых в среду для бродильных бактерий

Номер варианта	Реагент	Концентрация, г/л
1	NaOH	0,125
2а	ПАЦ-В (высокомолекулярная целлюлоза)	10
2б	ПАЦ-Н (низкомолекулярная целлюлоза)	10
3	Биоксан	10
4	Микан-40	10
5	Феррохлорлигносульфонат (ФХЛС)	10
6	Триполифосфат натрия (ТПФ) $Na_5P_3O_{10}$	2

Метан и водород определяли газохроматографическим методом (Bonch-Osmolovskaya et al., 2003).

Результаты количественной оценки образования молекулярного водорода бродильными бактериями, выделенными из бурового раствора, приведены в табл. 6.

Из данных табл. 6 видно, что значимые количества молекулярного водорода (>100 ppm) отмечены при росте накопительных культур бродильных бактерий, выделенных из пяти проб бурового раствора. Максимальное образование водорода – 13876 (1,4 % H_2 в газовой фазе), 1706 и 1574 ppm отмечено при росте накопительной культуры 51/09 в средах с биоксаном, высокомолекулярной целлюлозой и смесью феррохлорлигносульфоната + NaOH + ТПФ, соответственно (рис. 3). Внесение высокомолекулярной целлюлозы приводило также к небольшому образованию водорода культурами в скв. 5508 и 5608. Внесение биоксана в сочетании с феррохлорлигносульфонатом и ТПФ приводило к образованию меньшего количества водорода, чем внесение одного биоксана, что может быть объяснено ингибированием роста бактерий большой

Таблица 6

Образование молекулярного водорода (ppm) и метана (ppm) анаэробными микроорганизмами из бурового раствора в присутствии разных реагентов

Номер варианта	Бродильные бактерии из скважины	Газ	К	NaOH + ТПФ	ПАЦ-В + ТПФ	ПАЦ-В	ПАЦ-Н	NaOH + ФХЛС + ТПФ	Биоксан	Микан-40	Биоксан + ФХЛС + ТПФ	NaOH + ПАЦ-В + Биоксан + Микан-40 + ФХЛС + ТПФ
			К	1+6	2а+6	2а	2б	1+5+6	3	4	3+5+6	1+2а+3+4+5+6
1	5109, глубина 1825 м	H_2 CH_4	0 <2	96 <2	0 <2	1706 <2	87 <2	1574 4,5	13876 <2	0 4	656 9,5	0 3
2	5109, глубина 1650 м	H_2 CH_4	0 2,9	0 <2	0 <2	0 <2	82 <2	846 3,2	0 <2	106 31	774 3,6	90 34
3	5206	H_2 CH_4	0 <2	0 <2	0 <2	0 2,4	0 <2	0 <2	0 <2	0 2,5	0 2,2	120 42
4	5508	H_2 CH_4	0 <2	102 <2	0 <2	164 <2	0 <2	451 2,6	0 <2	0 15	0 2,3	0 22
5	5608	H_2 CH_4	0 <2	0 <2	0 <2	178 <2	0 <2	0 <2	0 <2	70 18	0 2,5	0 22
6	6503	H_2 CH_4	0 <2	0 <2	0 <2	0 <2	0 7	0 2,4	0 2	73 25 0	0 2,7	0 16

К – содержит только посевной материал (5 % об./флакон), без субстрата. Содержание метана в воздухе – 3...4 ppm.

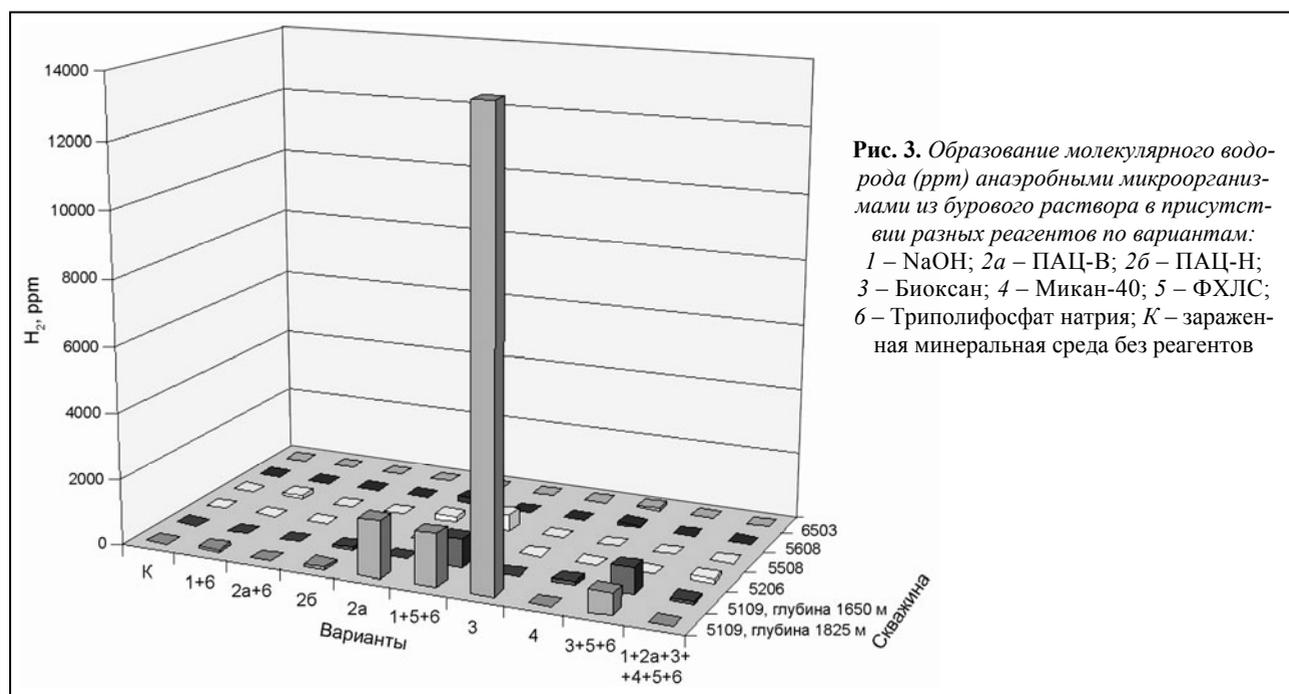


Рис. 3. Образование молекулярного водорода (ppm) анаэробными микроорганизмами из бурового раствора в присутствии разных реагентов по вариантам: 1 – NaOH; 2a – ПАЦ-В; 2b – ПАЦ-Н; 3 – Биоксан; 4 – Микан-40; 5 – ФХЛС; 6 – Триполифосфат натрия; К – зараженная минеральная среда без реагентов

концентрацией внесенных субстратов. Этот вывод подтверждается результатами эксперимента, в котором вносили в среду все субстраты (1+2a+3+4+5+6), а продукция водорода почти не регистрировалась. Отсутствие продукции водорода остальными пятью накопительными культурами, растущими в среде с биоксаном, может объясняться как низкой активностью бродильных бактерий, присутствующих в составе этих микробных сообществ, так и отсутствием микроорганизмов, растущих на использованных органических субстратах.

Небольшие количества метана (15...42 ppm), обнаруженные в газовой фазе при росте накопительных культур в средах с Миканом-40 (вариант 4) и смесью всех субстратов (вариант 6), свидетельствуют о присутствии жизнеспособных метанобразующих микроорганизмов в сообществе.

Таким образом, биополимер Робус (или Биоксан), добавляемый в буровой раствор, является основным источником органического вещества для микроорганизмов, присутствующих в составе бурового раствора. Биополимер является полисахаридом с длинноцепочечными молекулами, состоящими из сахаров глюкозы, маннозы и глюкуроновой кислоты. Главная цепь молекул такая же, как у целлюлозы, с трисахаридами в боковой цепи. Образование водорода в среде с Биоксаном подтверждает известное мнение о том, что микробные биополимеры хорошо разлагаются микроорганизмами.

Приведенные материалы свидетельствуют о присутствии в пробах бурового раствора метаболически разнообразного микробного сообщества, способного продуцировать газы (молекулярный водород и метан) за счет компонентов бурового раствора.

Таким образом, по результатам микробиологических исследований установлено, что при проходке до-

бывающих скважин происходит образование водорода, который образуется за счет Биоксана. При этом образуются высокие концентрации водорода и метана. При некачественной промывке скважин перед спуском колонны и цементацией, остатки бурового раствора в смеси с пластовой водой приводят к генерации высоких содержаний водорода в МКП скважин.

Однако, по мнению авторов, процесс микробиологической генерации водорода, не может способствовать накоплению значительного количества водорода в МКП скважин, которое наблюдалось в некоторых скважинах.

Таким образом, вне зависимости от генезиса водорода, его концентрации в МКП скважин не могут превышать исходные значения (0,7...2,8 % об.), выявленные при опробовании бурового раствора.

Представляется, что отмеченные аномальные содержания водорода (в 20, 45, 53, 79 % об.) могут быть объяснены исключительно термобарическими условиями, существующими в самих скважинах.

Для понимания этого процесса следует привести модель газодинамического режима скважин.

1. В процессе бурения происходит растепление пород, окружающих скважину. После обсадки и цементации колонны в МКП скважин попадает, прежде всего, газ из березовских отложений и сеномана [1, 2].

2. Между окончанием бурения скважины и ее перфорацией, а тем более, вводом в эксплуатацию, проходит как минимум 1 год. За это время как под влиянием погодных условий (на устье скважины), так и под воздействием толщи многолетнемерзлых пород происходит "остывание" скважин. Во многих случаях скважины как бы "запечатываются". В 2011 г. (до запуска скважин в эксплуатацию) количество скважин с межколонным газом составило 60 %. Во многих случаях газ в МКП скважин не был обнаружен.

3. После начала разработки месторождения в 2012 г. начался процесс растепления колонн скважин и окружающих их пород. Вследствие этого количество скважин с межколонными газопроявлениями увеличилось до 72 %.

Промерзание скважин, в которых существует высокое межколонное давление (соответствующее давлению нижеберезовской подсветы или сеномана), приводит к тому, что УВ, содержащиеся в межколонном газе, прежде всего метан, в присутствии воды образуют газогидраты. Это так называемые техногенные гидраты. В системе добычи газа они образуются в призабойной зоне, в стволе скважин, а также в шлейфах и внутрипромысловых коллекторах, в системе промышленной подготовки газа и магистральных газотранспортных системах [6]. Образованию газогидратов способствуют остатки бурового раствора и механические примеси, присутствующие в МКП скважин. В тех скважинах, в которых межколонное давление недостаточное для образования газогидратов, метан остается в газообразном состоянии.

Что же касается водорода, то в обычных условиях он газогидратов не образует [7]. Вследствие этого происходит относительное изменение концентраций метана и водорода в МКП скважин. В процессе образования газогидратов, главным образом метана, его содержание в межколонном газе снижается, а водорода, увеличивается, т. е. в МКП скважин происходит процесс концентрирования водорода.

После ввода скважины в эксплуатацию происходит ее растепление, вследствие чего газогидраты растворяются и метан переходит в газовую фазу, соответственно концентрация водорода в МКП снижается.

Предложенная схема образования повышенных концентраций водорода в МКП скважин хорошо согласуется с фактическими данными, полученными за период проведения указанных работ. Так, максимальные концентрации водорода приходится на "пик" промерзания скважин в 2010–2011 гг. до их ввода в эксплуатацию. В 2012–2013 гг. после запуска скважин в эксплуатацию их количество с концентрациями водорода более 4 % об. резко сократилось с 24 до 6...8 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Отбор проб межколонного газа и проведение изотопного анализа газа на Бованенковском НГКМ: отчет по договору № АДМ-316-2010-07 от 01.10.2010 / В.Л. Бондарев, М.Ю. Миротворский, В.Т. Гудзенко, В.Б. Зверева [и др.].
2. Природа межколонных газопроявлений на Бованенковском НГКМ / В.В. Черепанов, С.Н. Меньшиков, С.А. Варягов, В.Л. Бондарев, М.Ю. Миротворский // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – М.: ОАО "ВНИИОЭНГ", 2011. – № 9. – С. 48–54.
3. Левишнова С.П. О распространении сорбированного водорода в осадочных породах // Геология нефти и газа. – 1982. – № 9.

4. Евдокимов И.Н., Лосев А.П. Каналообразование в цементном камне при использовании оснастки обсадных колонн из алюминиевых сплавов // Нефт. хоз-во. – 2008. – № 6.
5. Зыкин Н.Н. Определение источника водорода в межколонных пространствах эксплуатационных скважин по данным геохимических исследований газа: тез. докл., IX Междунар. конф. "Новые идеи в науках о земле" Российский государственный геологоразведочный университет имени С. Орджоникидзе (РГГРУ) 14–17 апреля 2009 г.
6. Кузнецов Ф.А., Истомин В.А., Родионова Т.В. Газовые гидраты: исторический экскурс, современное состояние, перспективы исследования // Российский химический журнал. – 2003. – Т. 47. – № 34.
7. Якуцени В.П., Жарков А.М., Петрова Ю.Э. Нетрадиционные источники природных газов: перспективы и проблемы их освоения // Геология нефти и газа. – 2012. – № 6.
8. Отчет по теме "Определение образования молекулярного водорода микроорганизмами, выделенными из бурового раствора, за счет использования реагентов, применяемых при бурении / Т.Н. Назина, Н.К. Павлова, Т.Л. Бабич, Д.Ш. Соколова. – ИИМИ РАН. – М., 2013.

LITERATURA

1. Otbor prob mezhkolonnogo gaza i provedenie izotopnogo analiza gaza na Bovanenkovskom NGKM: otchet po dogovoru № ADM-316-2010-07 ot 01.10.2010 / V.L. Bondarev, M.Yu. Mirovtorskiy, V.T. Gudzenko, V.B. Zvereva [i dr.].
2. Priroda mezhkolonnykh gazoproyavleniy na Bovanenkovskom NGKM / V.V. Cherepanov, S.N. Men'shikov, S.A. Varyagov, V.L. Bondarev, M.Yu. Mirovtorskiy // Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy. – M.: OAO "VNIIOENG", 2011. – № 9. – S. 48–54.
3. Levshunova S.P. O rasprostranении sorbированного водорода v osadochnykh porodakh // Geologiya nefiti i gaza. – 1982. – № 9.
4. Evdokimov I.N., Losev A.P. Kanaloobrazovanie v tsementnom kamne pri ispol'zovanii osnastki obsadnykh kolonn iz alyuminiyevykh splavov // Neft. khoz-vo. – 2008. – № 6.
5. Zykin N.N. Opredelenie istochnika vodoroda v mezhkolonnykh prostranstvakh ekspluatatsionnykh skvazhin po dannym geokhimicheskikh issledovaniy gaza: tez. dokl., IX Mezhdunar. konf. "Novye idei v naukakh o zemle" Rossiyskiy gosudarstvennyy geologorazvedochnyy universitet imeni S. Ordzhonikidze (RGGRU) 14–17 aprelya 2009 g.
6. Kuznetsov F.A., Istomin V.A., Rodionova T.V. Gazovye gidraty: istoricheskiy ekskurs, sovremennoe sostoyanie, perspektivy issledovaniya // Rossiyskiy khimicheskiy zhurnal. – 2003. – T. 47. – № 34.
7. Yakutseni V.P., Zharkov A.M., Petrova Yu.E. Netraditsionnye istochniki prirodnykh gazov: perspektivy i problemy ikh osvoeniya // Geologiya nefiti i gaza. – 2012. – № 6.
8. Otchet po teme "Opredelenie obrazovaniya molekulyarnogo vodoroda mikroorganizmami, vydelennymi iz burovogo rastvora, za schet ispol'zovaniya reagentov, primenyaemykh pri buranii / T.N. Nazina, N.K. Pavlova, T.L. Babich, D.Sh. Sokolova. – INMI RAN. – M., 2013.