DOI: 10.17122/ntj-oil-2018-3-72-83
УДК 622.244.442

Сян Хуа, В.В. Кадет, Б.А. Никитин, А.С. Оганов (Российский государственный университет нефти и газа им. И.М. Губкина (Национальный исследовательский университет), г. Москва, Российская Федерация)

СОВРЕМЕННЫЕ РАЗРАБОТКИ КИТАЙСКИХ УЧЕНЫХ ДЛЯ ЗАЩИТЫ НЕФТЕГАЗОВЫХ ЗАЛЕЖЕЙ НА ОСНОВЕ БУРОВЫХ РАСТВОРОВ

Xiang Hua, Valeriy V. Kadet, Boris A. Nikitin, Aleksandr S. Oganov
(Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University),
Moscow, Russian Federation)

LATEST CHINESE SCIENTISTS TECHNOLOGIES FOR OIL AND GAS RESERVOIR PROTECTION BASED ON DRILLING FLUIDS

Введение

В настоящее время созданы три поколения технологий временного закупоривания бурового раствора: временно-экранирующего действия, временно-чистого действия, физико-химического закупоривания мембран, направленных на более эффективную защиту нефтегазовой залежи. Однако с разведкой и разработкой нетрадиционных, сложных, сверхглубинных, сверхглубоководных и других видов нефтегазовых месторождений данным методам становится всё сложнее удовлетворять возрастающим требованиям. В связи с этим китайские учёные применили бионические технологии в области буровых растворов, что способствовало развитию методов, подходящих для нефтегазовых залежей различных слоёв проницаемости - были разработаны супер-амфипатическая технология, технология биомембраны, технология синергии или синергитического взаимодействия.

Цели и задачи

Обоснование эффективности супер-амфипатической технологии, технологии биомембраны, технологии синергии.

Background

Currently, three generations of technologies for temporary mud plugging have been created: temporary-shielding action, temporary clean action, physico-chemical membrane blocking, aimed at more effective protection of oil and gas deposits. However, with the exploration and development of unconventional, complex, super-deep and other types of oil and gas deposits, it becomes increasingly difficult for these methods to meet increasing requirements. In this regard, Chinese scientists have applied bionic technology in the field of drilling fluids, which contributed to the development of methods suitable for oil and gas deposits of different layers of permeability - superamphipathic technology, biomembrane technology, synergy or synergistic-interaction.

Aims and Objectives

Prove the effectiveness of super-amphipathic technology, biomembrane technology, synergy technology.

Результаты

На основании анализа новых технологий, основанных на биометодах, установлено, что они представляют собой новый бионический подход к технологиям на основе буровых растворов, который способен защитить залежи различной проницаемости и различных размеров, что не только позволяет вывести технологии на новый экологически безопасный уровень, но и повышает уровень добычи нефти и газа, а также обосновывает новое направление для разработки технологий буровых растворов.

Results

Based on the analysis of new technologies based on bionic methods, it is established that they represent a new bionic approach to drilling fluid technologies that is able to protect reservoirs of different permeability and different sizes that not only allows the extraction of technologies to a new environmentally safe level, but also increases of oil and gas production, and also outlines a new direction for the development of drilling fluid technologies.

Ключевые слова: буровой раствор, бионическая изоляция, суперамфипатический, биомембрана, синергическое взаимодействие

Key words: drilling fluid, bionic insulation, superamphipathic, biomembrane, synergistic interaction

Введение

Нефтегазовые ресурсы Китая относительно низкие. В 2017 г. степень зависимости от иностранной нефти составляла около 70 %, а зависимость от природного газа - 39 %. С целью увеличения суточного дебита одиночной скважины и коэффициента извлечения нефти и газа в 1980-х гг. проводилась исследовательская работа в сфере защиты нефтегазовой залежи. Данная работа способствовала всестороннему развитию и повышению производительности производства, большей экономической эффективности. После 30-ти лет исследований внедрены технологии: временно-экранирующего действия [1], идеального наполнения D90 [2], временного действия широкого спектра [3], временного действия D50 [4], физико-химического закупоривания мембран (например технологии масляной плёнки [5] и плёнообразующие [6]), а также другие технологии буровых растворов для защиты нефтегазовой залежи, которые

получили широкое применение в нефтегазовой промышленности и помогли Китаю получить огромную прибыль в области потребления нефтегазового сырья. Тем не менее, данные технологии всё ещё далеки от достижения цели «сверхнизкого» или «нулевого» ущерба, к которому стремятся инженеры-нефтяники.

Под руководством профессора Китайского нефтяного университета Цзян Гуанчэн проведены исследования с целью введения бионики в технологии буровых растворов для защиты нефтегазовых залежей, а также для рассмотрения особенностей повреждения залежей с низкой, средней и высокой проницаемостью. В результате разработаны новые технологии в сфере буровых растворов на водной основе: «суперамфипатическая технология» [7-13], «технология биомембраны» [14-19], «технология синергии или синергетического взаимодействия» [20-22], предназначенные для защиты нефтегазовых залежей,

достигнута цель сверхнизких потерь на производстве. По сравнению с современными передовыми технологиями суточный дебит одиночной скважины увеличился более чем в 1,5-2 раза, произошёл рост экономической эффективности, что стало прорывом в развитии технологий буровых растворов для защиты нефтегазовых залежей.

*Суперамфипатическая технология
буровых растворов для защиты
низкопроницаемых залежей*

Нефтегазовая залежь с низкой и сверхнизкой проницаемостью имеет высокое содержание цемента, небольшие размеры устьев пор, смачиваемые водой поверхности горных пород.

В процессе бурения основной причиной повреждений является наличие жидкой фазы в буровом растворе, поскольку капиллярные трубки нефтегазовой залежи обладают сильной способностью самовсасывания нефти или воды.

Под руководством профессора Цзян Гуанчэна создан суперамфипатический модификатор, который формирует микро-наноструктуру сосцевидного отростка в поверхности горной породы (рисунки 1, 2), а также значительно снижает свободную энергию поверхности горной породы около стенки скважины и глинистой корки (рисунок 3). Краевой угол смачивания $\theta < 90^\circ$ инвертируется в $\theta > 150^\circ$ (рисунок 4), знак $\cos\theta$ из положительного инвертируется в отрицательный. В соответствии с формулой $\Delta P = 2\sigma\cos\theta r$ (ΔP - капиллярная сила) капиллярная сила также изменяется с исходного положительного значения на отрицательный.

Направление капиллярной силы меняется, и сила всасывания капиллярных сосудов инвертируется в силу сопротивления, предотвращая попадание нефти или воды в горловину пор нефтегазовой залежи (рисунки 5, 6) и повреждение слоёв с низкой проницаемостью.

По сравнению с другими технологиями защиты нефтегазовой залежи суточный дебит одиночной скважины в среднем увеличился более чем в 2,5 раза (таблица 1).

Рисунок 1. Первичная формация поверхности горной породы

Рисунок 2. Микро-наноструктура сосцевидного отростка в поверхности горной породы

Рисунок 3. Изменение свободной энергии ядра в зависимости от концентрации суперамфипатического модификатора

Рисунок 4. Изменение угла касания для водной и масляной фаз керна при обработке 3 %-ным суперамфипатическим реагентом

Рисунок 5. Изменение силы всасывания капиллярных сосудов при обработке 3 %-ным суперамфипатическим реагентом

Рисунок 6. Изменение объёма всасываемой жидкости при обработке 3 %-ным суперамфипатическим реагентом

Таблица 1. Эффективность суперамфипатической технологии на залежах низкой и сверхнизкой проницаемостей на месторождении Шенгли (Китай)

Номер скважины	Применяемая технология	Суточный дебит, т/сут	Интегральный показатель нефтедобычи, м ³ /(м·МПа)	Эффективность суперамфипатической технологии
Chun 64-4	Суперамфипатическая	3,2	0,064	1,422
Chun 64-3	Используемая ранее	0,9	0,045	
Fan 143-Xie10	Суперамфипатическая	5,2	0,168	1,487
Fan 143-13	Используемая ранее	4,7	0,113	
Liang 38-Ping 4	Суперамфипатическая	24,8	0,016	1,231
Liang 38-Ping 2	Используемая ранее	7,3	0,013	
Liang 23-Xie 36	Суперамфипатическая	5,9	0,120	24,000
Liang 23-12	Используемая ранее	0,5	0,005	
Liang 38-Ping 7	Суперамфипатическая	10,4	0,012	1,091
Liang 38-Ping 3	Используемая ранее	2,2	0,011	
Fan 147-9	Суперамфипатическая	5,0	0,303	1,693
Fan 147-1	Используемая ранее	2,0	0,179	
Gao 424-1	Суперамфипатическая	4,4	0,262	2,031
Gao 424	Используемая ранее	2,8	0,129	
Chun 48-Xie 17	Суперамфипатическая	8,3	0,231	38,500
Chun 48-Xie 11	Используемая ранее	1,9	0,006	
Liang 20-Xie 31	Суперамфипатическая	4,6	2,129	2,571
Liang 20-Xie 21	Используемая ранее	2,75	0,828	

Технология биомембраны буровых растворов для защиты залежей средней проницаемости

В залежах средней проницаемости как твердые, так и жидкие частицы бурового раствора способны привести к повреждениям нефтегазовой залежи. Рассматривая структуру биомембраны как первоначальную оболочку, предложен полимер, который с помощью электростатической силы, химических отложений и осадков формирует прочную и эластичную мембрану на поверхности породы

в залежи средней проницаемости (рисунок 7), чтобы удерживать твердые и жидкие частицы бурового раствора внутри нефтегазовой залежи. Таким образом, создана новая мембранная технология буровых растворов для защиты залежей. Промысловые испытания показали, что ежедневный выход из одной и той же скважины в единичном блоке увеличился более чем в 1,5 раза (таблицы 2, 3). Роль буровых растворов в технологии защиты средних инфильтрационных нефтегазовых залежей значительно возросла.

- а) поверхность фильтровальной бумаги
 б) поверхность после нанесения пленки на поверхность фильтровальной бумаги
 в) торцевая сторона фильтровальной бумаги
 г) торцевая сторона фильтровальной бумаги после нанесения пленки
 д) поверхность горной породы
 е) поверхность горной породы после нанесения пленки

Рисунок 7: Формирование защитной мембраны на поверхностях фильтровальной бумаги и горной породы (изображения получены с помощью растрового электронного микроскопа)

Таблица 2. Сравнение результатов промысловых испытаний защитной технологии биомембраны с применяемыми ранее технологиями

Особенности конструкции скважины	Номер скважины	Применяемая технология	Пробный скин-фактор	Интегральный показатель нефтедобычи, $\text{м}^3/(\text{м} \cdot \text{МПа})$	Эффективность технологии биомембраны, %
Экспериментальная скважина	Guan 27-55	Технология биомембраны	0,01	0,048	71,43-54,84
Контрольная скважина	Guan 25-51	Применяемая ранее технология	3,55	0,031	-
Контрольная скважина	Guan 25-53	Применяемая ранее технология	3,26	0,028	-
Экспериментальная скважина	Gang 393-1	Технология биомембраны	0,01	0,810	42,11
Контрольная скважина	Gangshen 41×1	Применяемая ранее технология	3,41	0,510	-
Экспериментальная скважина	Gang 393-1	Технология биомембраны	0,02	6,180	63,49
Контрольная скважина	Gang 26-8	Применяемая ранее технология	3,45	3,780	-
Экспериментальная скважина	Zao 76-13	Технология биомембраны	0,02	0,634	103,21
Контрольная скважина	Zao 74-13	Применяемая ранее технология	5,33	0,312	-

Таблица 3. Сравнение результатов промысловых испытаний защитной технологии биомембраны с другими технологиями на нагнетательных скважинах

Особенности конструкции скважины	Номер скважины	Применяемая технология	Пробный скин-фактор	Интегральный показатель нефтедобычи, м ³ /(м·МПа)	Увеличение показателя нефтедобычи, %
Экспериментальная скважина	Guan 23-52	Технология биомембраны	0,01	0,460	751,85
Контрольная скважина	Guan 27-59	Применяемая ранее технология	4,62	0,054	-
Экспериментальная скважина	Gang 49-8	Технология биомембраны	0,03	1,110	139,22
Контрольная скважина	Gang 49-2	Применяемая ранее технология	3,91	0,464	-
Экспериментальная скважина	Wang 45-9	Технология биомембраны	0,04	0,620	292,41
Контрольная скважина	Wang 41-3	Применяемая ранее технология	5,12	0,158	-

Технология синергии для залежей высокой проницаемости

Диаметр устьев пор залежей высокой прочности относительно большой, твёрдые и жидкие частицы, находящиеся в буровом растворе, способны привести к повреждениям нефтегазовых залежей, в основном, вследствие повреждений, вызванных твёрдыми частицами. Чтобы решить эту проблему, была предложена технология замещения многослойной композитной структурой - чередующейся оболочкой «кирпич - глина» (рисунок 8).

В дальнейшем для залежей высокой проницаемости была разработана новая технология на основе биоплёнки, которая соединила в себе технологию биомембраны и технологию идеального наполнения (рисунок 9), и использующая идеальные гранулы закладки и полимерные мембраны (рисунок 10).

В данной технологии определенным образом уменьшается диаметр устьев пор

залежи высокой проницаемости, затем на маленьком отверстии создается биоплёнка, даже на «сверхнизких» объектах повреждения.

Таким образом, решены проблемы с залежами высокой проницаемости. По сравнению с другими передовыми технологиями в одном и том же блоке средняя суточная добыча увеличилась в среднем более чем в 2 раза (таблица 4).

Описанные три технологии, основанные на биометодах, представляют собой новый бионический подход к технологиям на основе буровых растворов, который способен защитить залежи различной проницаемости и различных размеров, что не только позволяет вывести технологии на новый экологически безопасный уровень, но и повышает уровень добычи нефти и газа, а также обосновывает новое направление для разработки технологий буровых растворов.

Рисунок 8. Чередующаяся структура «кирпич - глина»

Рисунок 9. Применение принципа синергии

Рисунок 10. Схема технологии синергии

Таблица 4. Сравнение результатов промысловых испытаний технологии синергии с другими технологиями на нагнетательных скважинах на месторождениях с высокой проницаемостью

Номер экспериментальной скважины	Толщина нефтегазовой залежи, м	Индекс нефтедобычи экспериментальной скважины, $\text{м}^3/(\text{м} \cdot \text{МПа})$	Номер контрольной скважины	Толщина нефтегазовой залежи, м	Индекс нефтедобычи контрольной скважины, $\text{м}^3/(\text{м} \cdot \text{МПа})$	Эффективность технологии синергии
Zhong 30-Xiegeng533	10,5	0,952	Zhong 31-Geng 533	7,3	0,452	2,11
Zhong 32-Xie533	15,0	0,580	Zhong 31-Xie 533	7,3	0,452	1,28
Zhong 30-Xiegeng 528	19,1	0,733	Zhong 31-Xie529	15,3	0,085	8,63
Zhong 31-Pai 532	6,8	1,103	Zhong 31-531	12,0	0,108	10,20
Zhong 33-Pai 528	10,8	0,269	Zhong 33-Geng 529	12,1	0,223	1,20
Zhong 35-Pai 528	10,2	0,451	Zhong 33-526	14,1	0,348	1,30

Выводы

Бионика - важное направление и источник для теоретических исследований и ключевых технологических инноваций. Китайским университетом нефти (г. Пекин) разработан комплекс технологий на основе бионики с применением буровых растворов на водной основе, эффективность технологий доказана на крупных нефтегазовых месторождениях.

Изучение последних достижений в технологиях буровых растворов в Китае позволяет лучше понять китайский валютный рынок.

Важное значение для развития сотрудничества между Китаем и Россией в нефтегазовой отрасли имеет добыча нефти и газа в Арктике, где рассмотренные технологии могут найти широкое применение.

Список литературы

1. Luo Xiangdong, Luo Pingya. Research on the Application of Shielded Temporary Plugging Technology in Reservoir Protection // *Drilling Fluids and Completions*. 1992. Vol. 9 (2). P. 19-27.
2. Ai Guicheng, Liu Meiquan, Zhang Luyuan, Li Dequan, Feng Yi. «Ideal Filling Theory» - the Application of d(90) Empirical Rules in Well Kun 2 // *Drilling Fluids and Completions*. 2006. Vol. 5. P. 14-17, 82.
3. Xu Tongtai, Chen Yonghao, Feng Jinghai e.a. Discussion on the Technology of Wide-Spectrum

References

1. Luo Xiangdong, Luo Pingya. Research on the Application of Shielded Temporary Plugging Technology in Reservoir Protection. *Drilling Fluids and Completions*, 1992, Vol. 9 (2), pp. 19-27.
2. Ai Guicheng, Liu Meiquan, Zhang Luyuan, Li Dequan, Feng Yi. «Ideal Filling Theory» - the Application of d(90) Empirical Rules in Well Kun 2. *Drilling Fluids and Completions*, 2006, Vol. 5, pp. 14-17, 82.
3. Xu Tongtai, Chen Yonghao, Feng Jinghai e.a. Discussion on the Technology of Wide-Spectrum Shielding Temporary Plug Protection Reservoir. *Drill-*

Shielding Temporary Plug Protection Reservoir // *Drilling and Completion Fluids*. 2003. Vol. 20 (2). P. 39-41.

4. Pan Yongqiang. Daqing Fractured Reservoir Damage Mechanism and Evaluation Technology. Daqing Petroleum Institute, 2009. P. 40-46, 59.

5. Jiang Guancheng, Hu Chengliang, Xiong Ying e.a. Research on Drilling and Completion Fluid System for Protecting Oil and Gas Reservoirs with Broad-Spectrum Temporary Plugging // *Journal of Drilling and Production*. 2005. Vol. 28 (5). P. 101-104.

6. Sun Jinsheng. Research on Film Formation Technology of Water-Based Drilling Fluid. Southwest Petroleum University, 2006. P. 70-112.

7. Guancheng Jiang, Yingying Li, Weixing Xu, Ying Kong, Chunyan Feng. Study and Application of Formation Protection Drilling-In Completion Fluid in Developing Low and Extra Low Permeability Reservoirs // *International Conference on Mechanical, Industrial, and Manufacturing Engineering (MIME 2011)*, Australia, Melbourne, 15-16 January, 2011. 2011. P. 405-409.

8. Jiang Guancheng, Xuan Yang, Wang Hao, Zhang Hao, An Yuxiu. Wetting Reversal Agent and Reservoir Protection Composition Suitable for Low Permeability and Low Permeability Reservoirs and Their Applications. China Patent, CN105131913B, 2017-08-11.

9. Jiang Guancheng, Zhang Xianmin, Wang Le, He Zibo, Liu Fan, Yang Lili, Sun Haifang, Peng Chunyao, Ma Guangchang, Jiang Qihui, Dong Tengfei. Double Cationic Silver Fluorocarbon Surfactant and its Preparation Method as Double Sparse Type Applications of Wetting and Reversing Agents and Drilling Fluids and Their Applications. China Patent, CN106634894A, 2017-05-10.

10. Guancheng Jiang, Yang Xuan, Xi Wang, Shuo Zhang, Yuxiu An, Jinsheng Sun. Preparation Method of Wet Ability Reversal Agent. US Patent US9296936[P]. 2016-03-29.

11. Jiang Guancheng, Xuan Yang, Wang Miao, Zhang Miao, An Yuxiu. Wetting Reversal Agent and its Preparation Method and Reservoir Protection Agent Composition, as Well as Drilling Fluid for Low Permeability and Ultra-Low Permeability Reservoir and Application. China Patent, CN104650828A, 2015-05-27.

12. Jiang Guancheng, Ma Li, Wang Yanling, Liu Chengjie, Jin Jiafeng, Xu Chao. A Method for Realizing Surface Gas-Wet Reversal Using Cationic Fluorocarbon Surfactants. China Patent, CN102504790A, 2012-06-20.

13. Jiang Guancheng, Li Yingying, Li Ling. Waterproof Lock Agent for Drilling Fluid and its Preparation Method. China Patent, CN102887974A, 2013-01-23.

14. Guancheng Jiang, Yang Xuan, Xi Wang, Yuxiu An. Reservoir Protecting Agent Composition, Drilling Fluid for Middle Permeability Reservoirs and Use Thereof. US Patent US9353305, 2016-05-31.

ing and Completion Fluids, 2003. Vol. 20 (2), pp. 39-41.

4. Pan Yongqiang. *Daqing Fractured Reservoir Damage Mechanism and Evaluation Technology*. Daqing Petroleum Institute, 2009. P. 40-46, 59.

5. Jiang Guancheng, Hu Chengliang, Xiong Ying e.a. Research on Drilling and Completion Fluid System for Protecting Oil and Gas Reservoirs with Broad-Spectrum Temporary Plugging. *Journal of Drilling and Production*, 2005, Vol. 28 (5), pp. 101-104.

6. Sun Jinsheng. *Research on Film Formation Technology of Water-Based Drilling Fluid*. Southwest Petroleum University, 2006, pp. 70-112.

7. Guancheng Jiang, Yingying Li, Weixing Xu, Ying Kong, Chunyan Feng. Study and Application of Formation Protection Drilling-In Completion Fluid in Developing Low and Extra Low Permeability Reservoirs. *International Conference on Mechanical, Industrial, and Manufacturing Engineering (MIME 2011)*, Australia, Melbourne, 15-16 January, 2011. 2011, pp. 405-409.

8. Jiang Guancheng, Xuan Yang, Wang Hao, Zhang Hao, An Yuxiu. *Wetting Reversal Agent and Reservoir Protection Composition Suitable for Low Permeability and Low Permeability Reservoirs and Their Applications*. China Patent, CN105131913B, 2017-08-11.

9. Jiang Guancheng, Zhang Xianmin, Wang Le, He Zibo, Liu Fan, Yang Lili, Sun Haifang, Peng Chunyao, Ma Guangchang, Jiang Qihui, Dong Tengfei. *Double Cationic Silver Fluorocarbon Surfactant and its Preparation Method as Double Sparse Type Applications of Wetting and Reversing Agents and Drilling Fluids and Their Applications*. China Patent, CN106634894A, 2017-05-10.

10. Guancheng Jiang, Yang Xuan, Xi Wang, Shuo Zhang, Yuxiu An, Jinsheng Sun. *Preparation Method of Wet Ability Reversal Agent*. US Patent US9296936[P]. 2016-03-29.

11. Jiang Guancheng, Xuan Yang, Wang Miao, Zhang Miao, An Yuxiu. *Wetting Reversal Agent and its Preparation Method and Reservoir Protection Agent Composition, as Well as Drilling Fluid for Low Permeability and Ultra-Low Permeability Reservoir and Application*. China Patent, CN104650828A, 2015-05-27.

12. Jiang Guancheng, Ma Li, Wang Yanling, Liu Chengjie, Jin Jiafeng, Xu Chao. *A Method for Realizing Surface Gas-Wet Reversal Using Cationic Fluorocarbon Surfactants*. China Patent, CN102504790A, 2012-06-20.

13. Jiang Guancheng, Li Yingying, Li Ling. *Waterproof Lock Agent for Drilling Fluid and its Preparation Method*. China Patent, CN102887974A, 2013-01-23.

14. Guancheng Jiang, Yang Xuan, Xi Wang, Yuxiu An. *Reservoir Protecting Agent Composition, Drilling Fluid for Middle Permeability Reservoirs and Use Thereof*. US Patent US9353305, 2016-05-31.

15. Jiang Guancheng, Xuan Yang, Wang Miao, Zhang Miao, An Yuxiu. Reservoir Protection Agent Compositions and Drilling Fluids for Medium-Permeability Reservoirs and Their Applications. China Patent, CN104650829A, 2015-05-27.

16. Guancheng Jiang, Yang xuan, Xi Wang, Ranran Song, Xianzhu Wu, Junbin Chen, Wei Ou Yang, Taotao Luo, Lan Wang. Amphiphilic Reservoir Protecting Agent and Reparation Method Thereof and Drilling Fluid. US Patent US9399692, 2016-07-26.

17. Jiang Guancheng, Xuan Yang, Wang Yu, Song Ranran, Wu Xianzhu, Chen Junbin, Ouyang Wei, Luo Taotao, Wang Lan. Amphiphilic Reservoir Protection Agent and its Preparation Method and Application, and Drilling Fluid and its Application. China Patent, CN104610485A, 2015-05-13.

18. Jiang Guancheng, Xuan Yang, Wang Hao, Zhang Hao, An Yuxiu. Reservoir Protection Agent Composition and Broad Spectrum Drilling Fluid and its Application. China Patent, CN104629695B, 2016-02-03.

19. Guancheng Jiang, Yang Xuan, Xi Wang, Shuo Zhang, Yuxiu An, Jinsheng Sun. Reservoir Protecting Agent Composition and Broad-Spectrum Drilling Fluid and Use Thereof. US Patent US9279076, 2016-03-08.

20. Jiang G., Xuan Y., Wu X. e.a. Method for Preparation of Biomimetic Polymer for Stabilizing Wellbore and Drilling Fluid. US Patent US9410068, 2016-08-09.

21. Guancheng Jiang, Yang Xuan, Xi Wang, Shuo Zhang, Yuxiu An, Jinsheng Sun. Protecting Agent Composition for High Ultra-High Permeability Reservoirs and Drilling Fluid and Use Thereof. US Patent US9267068, 2016-2-23.

22. Jiang Guancheng, Xuan Yang, Wang Wei, Zhang Wei, An Yuxiu. Protection Composition and Drilling Fluid for High Permeability, High Permeability Reservoir and its Application. China Patent, CN104650823A, 2015-05-27.

15. Jiang Guancheng, Xuan Yang, Wang Miao, Zhang Miao, An Yuxiu. *Reservoir Protection Agent Compositions and Drilling Fluids for Medium-Permeability Reservoirs and Their Applications*. China Patent, CN104650829A, 2015-05-27.

16. Guancheng Jiang, Yang xuan, Xi Wang, Ranran Song, Xianzhu Wu, Junbin Chen, Wei Ou Yang, Taotao Luo, Lan Wang. *Amphiphilic Reservoir Protecting Agent and Reparation Method Thereof and Drilling Fluid*. US Patent US9399692, 2016-07-26.

17. Jiang Guancheng, Xuan Yang, Wang Yu, Song Ranran, Wu Xianzhu, Chen Junbin, Ouyang Wei, Luo Taotao, Wang Lan. *Amphiphilic Reservoir Protection Agent and its Preparation Method and Application, and Drilling Fluid and its Application*. China Patent, CN104610485A, 2015-05-13.

18. Jiang Guancheng, Xuan Yang, Wang Hao, Zhang Hao, An Yuxiu. *Reservoir Protection Agent Composition and Broad Spectrum Drilling Fluid and its Application*. China Patent, CN104629695B, 2016-02-03.

19. Guancheng Jiang, Yang Xuan, Xi Wang, Shuo Zhang, Yuxiu An, Jinsheng Sun. *Reservoir Protecting Agent Composition and Broad-Spectrum Drilling Fluid and Use Thereof*. US Patent US9279076, 2016-03-08.

20. Jiang G., Xuan Y., Wu X. e.a. *Method for Preparation of Biomimetic Polymer for Stabilizing Wellbore and Drilling Fluid*. US Patent US9410068, 2016-08-09.

21. Guancheng Jiang, Yang Xuan, Xi Wang, Shuo Zhang, Yuxiu An, Jinsheng Sun. *Protecting Agent Composition for High Ultra-High Permeability Reservoirs and Drilling Fluid and Use Thereof*. US Patent US9267068, 2016-2-23.

22. Jiang Guancheng, Xuan Yang, Wang Wei, Zhang Wei, An Yuxiu. *Protection Composition and Drilling Fluid for High Permeability, High Permeability Reservoir and its Application*. China Patent, CN104650823A, 2015-05-27.

Авторы

• Сян Хуа
Российский государственный университет нефти и газа им. И.М. Губкина (Национальный исследовательский университет)
Аспирант кафедры освоения морских нефтегазовых месторождений
Российская Федерация, 119991, г. Москва, Ленинский пр., 65
e-mail: xianghua35@yahoo.com

The Authors

• Xiang Hua
Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University)
Post-Graduated of Offshore Oil and Gas Field Development Department
65, Lenin ave., Moscow, 119991, Russian Federation
e-mail: xianghua35@yahoo.com

• Кадет Валерий Владимирович, д-р технических наук, профессор
Российский государственный университет нефти и газа им. И.М. Губкина (Национальный исследовательский университет)
Заведующий кафедрой нефтегазовой и подземной гидромеханики
Российская Федерация, 119991, г. Москва, Ленинский пр., 65
e-mail: kadet.v@gubkin.ru

• Kadet Valeriy V., Doctor of Engineering Sciences, Professor
Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University)
Head of Oil and Gas and Subsurface Hydromechanics Department
65, Lenin ave., Moscow, 119991, Russian Federation
e-mail: kadet.v@gubkin.ru

• Никитин Борис Александрович, д-р технических наук, профессор
Российский государственный университет нефти и газа им. И.М. Губкина (Национальный исследовательский университет)
Заведующий кафедрой освоения морских нефтегазовых месторождений
Российская Федерация, 119991, г. Москва, Ленинский пр., 65
e-mail: oversea@gubkin.ru

• Nikitin Boris A., Doctor of Engineering Sciences, Professor
Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University)
Head of Offshore Oil and Gas Field Development Department
65, Lenin ave., Moscow, 119991, Russian Federation
e-mail: oversea@gubkin.ru

• Оганов Александр Сергеевич, д-р технических наук, профессор
Российский государственный университет нефти и газа им. И.М. Губкина (Национальный исследовательский университет)
Заведующий кафедрой бурения нефтяных и газовых скважин
Российская Федерация, 119991, г. Москва, Ленинский пр., 65
e-mail: bur220@gubkin.ru

• Oganov Aleksander S., Doctor of Engineering Sciences, Professor
Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University)
Head of Oil and Gas Wells Drilling Department
65, Lenin ave., Moscow, 119991, Russian Federation
e-mail: bur220@gubkin.ru