

## БУРЕНИЕ НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ СКВАЖИН

УДК 622.244.5:622.248.33:622.244.49

© Яковлев А.А., Турицына М.В., 2012

### ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВОВ ГАЗОЖИДКОСТНЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ ПРОМЫВКИ СКВАЖИН В УСЛОВИЯХ АНОМАЛЬНО НИЗКИХ ПЛАСТОВЫХ ДАВЛЕНИЙ

А.А. Яковлев, М.В. Турицына

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»,  
Санкт-Петербург, Россия

Целью работы является повышение эффективности вскрытия продуктивных пластов с аномально низкими пластовыми давлениями (АНПД) путем использования облегченных буровых растворов на основе газожидкостных смесей. Для месторождений с аномально низкими пластовыми давлениями, вызванных как естественными геологическими причинами, так и искусственным путем (в процессе разработки и эксплуатации), необходимо и обосновано применение растворов пониженной плотности. Одним из путей снижения плотности очистных агентов является введение в раствор газовой составляющей. Перспективным является применение различных газожидкостных смесей, в частности стабильных пен.

В работе приведен анализ месторождений РФ с аномально низкими пластовыми давлениями, который показал актуальность данной проблемы и необходимость применения щадящих технологий вскрытия продуктивных пластов. Обосновано использование в качестве промывочного агента газожидкостных смесей на основе анализа научно-технической литературы.

Исследованы газожидкостные смеси, включающие в свой состав следующие компоненты: ПАВ (лаурилсульфат натрия, LABS натрия), полимеры-структурообразователи (полиакриламиды FP-107 и «Praestol», биополимер «K.K. Robus», карбоксиметил крахмал КМК-БУР-2, карбоксиметил целлюлоза КМЦ), регулятор вязкости (глицерин), реагент для смягчения воды (каустическая сода), бактерицид (калий уксуснокислый плавленый), гидрофобизирующая добавка (ГКЖ-11).

Реология полученных смесей исследовалась на ротационном вискозиметре «Rheotest RN 4.1» и приборе CHC-2. Экспериментальные данные и результаты их обработки показали, что течение исследуемых газожидкостных смесей в диапазоне скоростей сдвига от 100 до  $600 \text{ c}^{-1}$  описывается реологическим уравнением Остwaldа-де Ваала со степенью определенности  $\sigma = 0,96\ldots 1,00$ . Кроме того, исследуемые ГЖС обладают свойствами твердого тела, которые проявляются в наличии высоких значений статического напряжения сдвига.

**Ключевые слова:** бурение скважин, аномально низкое пластовое давление, коэффициент аномальности, промывка скважин, газожидкостные смеси, реология, первичное вскрытие продуктивного пласта.

### FOUNDATION THE APPLICATION AND INVESTIGATION OF LIQUID-GAS MIXTURES COMPOSITIONS FOR FLUSHING-OUT BOREHOLE CAVITIES IN CONDITIONS OF ANOMALOUS LOW FORMATION PRESSURE

А.А. Яковлев, М.В. Турицына

National mineral resources University, Saint-Petersburg, Russia

The aim of the work consists in effectiveness increase of opening-up productive geological horizons with anomalous low formation pressure (ALFP) by using benign drilling agents on the base of liquid-gas mixtures. The application of lowered pressure solutions for deposits with anomalous low formation pressure generated both by natural geological causes and artificial impact (within development and production activity) is proved. Including of gas component in mixture is considered to be one of the methods for decrease the density of cleaning agents. It seems to be perspective to apply different liquid-gas mixtures, in particular stable foams.

The analysis of RF deposits with anomalous low formation pressure is presented. This analyze showed the actuality of the problem and the necessity of application cautious technologies for opening-up geological horizons. On the base of scientific and technical literature the application of liquid-gas mixtures as cleaning agent is proved.

Liquid-gas mixtures comprising the following compounds: surface-active substanc (sodium lauryl sulfate, sodium LABS), polymers- amendments (polyacrylamides FP-107 and «Praestol», Biopolymer «K.K. Robus», carboxymethyl starch KMK-BUR-2, carboxymethoxyethyl cellulose KMC), viscosity controller (glycerol), reagent for water softening (caustic), germicide (potassium acetate fused), waterproofing admixture (GKJ-11) are investigated.

The rheology of received mixtures was investigated with the use of rotary viscosimeter «Rheotest RN 4.1»and device CHC-2. Experimental data and results of data processing showed that the current of liquid-gas mixtures over the shear rate range 100 to  $600 \text{ c}^{-1}$  is described by rheological equation of Ostwald de Waele with the degree of definiteness  $\sigma = 0,96\ldots 1,00$ . Besides, investigated liquid-gas mixtures are possessed of solids characteristics which are appeared with high value of CHC.

**Keywords:** well-drilling, anomalous low formation pressure, anomaly coefficient, промывка скважин, liquid-gas mixtures, rheology, opening-up of productive geological horizon.

## Введение

Объектом исследования являются месторождения нефти и газа РФ с аномально низкими пластовыми давлениями (АНПД).

Цель работы – повышение эффективности первичного вскрытия продуктивных горизонтов с АНПД путем снижения дифференциального давления на забое скважины за счет применения облегченных буровых растворов.

При бурении скважин и первичном вскрытии продуктивных горизонтов велика вероятность загрязнения пласта с последующим снижением проницаемости и продуктивности. Большую роль играет плотность промывочного агента, поскольку она определяет значение давления на забое скважины. Для месторождений с АНПД существует необходимость снижения плотности ниже плотности воды (в некоторых случаях до  $600 \text{ кг}/\text{м}^3$  и ниже). Добиться этого можно благодаря применению различных очистных агентов, наиболее перспективными из которых являются газожидкостные смеси.

## Выбор объекта исследования

По мере выработки месторождений, характеризующихся сравнительно простым геологическим строением, в разработку начинают вовлекаться месторождения с трудноизвлекаемыми запасами, что требует иного подхода по сравнению с ранее применявшимся ко всему процессу разведки и эксплуатации, начиная с первичного вскрытия продуктивного горизонта. К таким сложным горно-геологическим условиям относятся аномальные пластовые давления, солевые толщи, многолетняя мерзлота и др. [1].

Если обратиться к географии распространения такого явления, как АНПД, то наиболее часто они встречаются на месторождениях Тимано-Печорской (25,4 % от фонда месторождений провинции) и Лено-Тунгусской (25 %) нефтегазоносных провинциях (НГП). В то же время по абсолютным показателям месторождения

с АНПД получили широкое распространение на месторождениях Западно-Сибирской (44,5 %) и Волго-Уральской (34,5 %) провинций [2]. Для каждой нефтегазоносной провинции залегание пластов с аномально низкими давлениями приурочено к разным глубинам (рис. 1).

В качестве объекта исследования выбраны коллекторы-песчаники, поскольку к ним относятся 60 % пород, слагающих продуктивные горизонты с АНПД. В табл. 1 представлена сводная характеристика этих горизонтов [2].

Кроме того, в процессе разработки и эксплуатации месторождений при отсутствии должной компенсации пластового давления нагнетанием различных агентов в продуктивный горизонт также происходит снижение пластовых давлений, вплоть до аномально низких. По результатам анализа динамики изменения пластового давления по мере эксплуатации (за последние 20 лет) месторождений Когалымского региона (Западная Сибирь) наблюдается снижение пластовых давлений от 12 до 50 % (рис. 2) в сравнении с начальными [2, 3].

Поскольку снижение пластовых давлений зависит от большого количества факторов, на каждом месторождении оно будет происходить с различной интенсивностью. С точки зрения строительства скважин повлиять на это можно, применения щадящие технологии вскрытия продуктивного пласта.

## Выбор промывочного агента для первичного вскрытия пластов с аномально низкими давлениями

С точки зрения сохранения фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) продуктивных горизонтов наиболее эффективным является вскрытие пластов на депрессии или равновесии. Негативной стороной применения способа на депрессии является опасность возникновения газонефтоводопроявлений (ГНВП) при вскрытии. Более щадящей является технология равновесного вскрытия горизон-

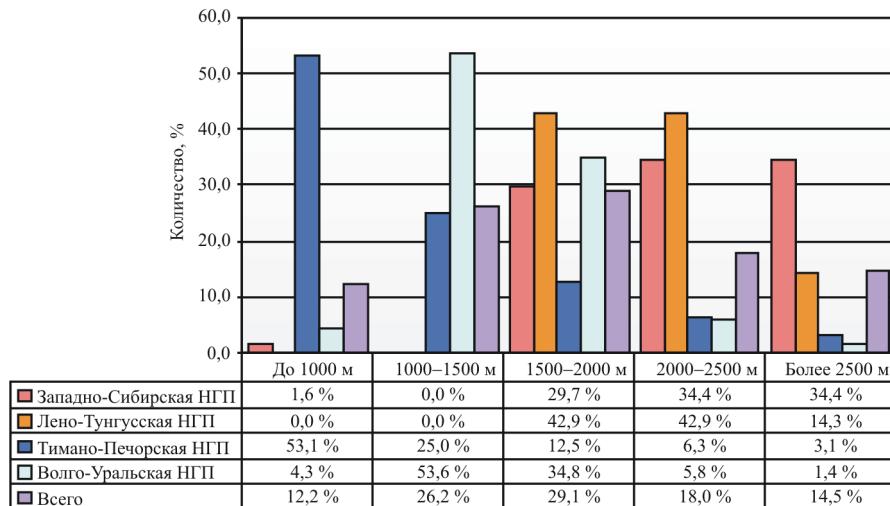


Рис. 1. Распространение пластов с аномально низкими пластовыми давлениями по глубинам на месторождениях РФ (от фонда месторождений с АНПД)

Таблица 1

Характеристика продуктивных горизонтов (песчаники, коллекторы) с АНПД (средние значения для интервалов)

Интервал залегания кровли пласта, м	Открытая пористость, %	Проницаемость, мкм <sup>2</sup>	Давление пластовое, МПа	Температура пластовая, °C	Газовый фактор, м <sup>3</sup> /т	Коэффициент аномальности, К <sub>а</sub>
< 1000	19,0–20,0	7,50–15,70	7,3	20–37	63–80	0,88
1000–1499	16,5–25,0	0,94–35,60	10,7	24–27	19–28	0,89
1500–1999	14,0–20,0	1,00–6,00	16,1	14–57	29–34	0,85
2000–2499	14,0–18,5	0,04–0,08	21,9	64–98	47–49	0,94
> 2500	14,0–18,0	0,04–1,20	25,2	79–94	48–90	0,97

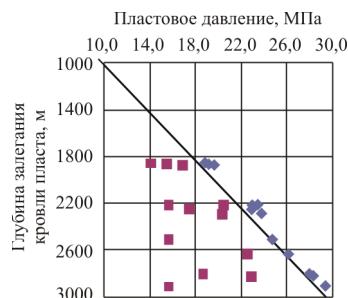


Рис. 2. Динамика снижения пластовых давлений на месторождениях Когалымского региона (Западная Сибирь): — – гидростатическое давление; ◆ – пластовое давление начальное; ■ – пластовое давление на 01.03.2008

та. Особенно актуально это для пластов АНПД. При этом поднимается вопрос о снижении гидростатического давления промывочной жидкости в скважине. Од-

ним из путей снижения давления является применение облегченных растворов. В табл. 2 приведены основные типы промывочных агентов, используемых при бурении в пластах с АНПД [4–19].

Все представленные в таблице растворы имеют свои преимущества и недостатки, однако анализ современного состояния теории и практики первичного вскрытия продуктивных пластов с АНПД с применением облегченных буровых растворов (ПермНИПИнефть, КогалымНИПИнефть, СевКавНИПИгаз, ВолгоУралНИПИгаз, НПО «Буровая техника», НПО «Бурение») позволил сделать вывод о том, что одним из наиболее перспективных направлений является применение газожидкостных смесей.

Таблица 2

Типы облегченных очистных агентов

Тип промывочного агента	Преимущества	Недостатки
Нефть, газированная азотом	Низкая плотность Минимальное загрязнение нефтяного пласта	Высокая пожаро- и взрывоопасность Негативное влияние на окружающую среду
Буровые растворы на углеводородной основе	Низкая плотность (900–1000 кг/м <sup>3</sup> ) Минимальное загрязнение нефтяного пласта Возможность удешевления раствора применением «сырой» нефти	Высокая пожаро- и взрывоопасность Негативное влияние на окружающую среду
Буровые растворы на водной основе с облегчающими добавками (перлит, пластилон микросферы и др.)	Низкая плотность (снижение плотности до 660 кг/м <sup>3</sup> ) Высокая прочность добавок Инертность добавок по отношению к химическим реагентам	Содержит твердую фазу, способную снизить проницаемость продуктивного горизонта Облегчающие добавки «всплывают» на поверхность
Буровые растворы, содержащие афроны	Не содержит твердой фазы или других компонентов, способных необратимо нарушить коллекторские свойства пласта Экологически безопасны и биоразложимы	Сравнительно высокая плотность (близкая к плотности воды) Высокая стоимость компонентов раствора
Газожидкостные смеси (ГЖС)	Низкая плотность (снижение плотности до 300 кг/м <sup>3</sup> ) Возможность выноса крупных частиц выбуренной породы диаметром до 4–5 см Увеличение скорости бурения скважины	Недостаточная изученность процессов, проходящих на забое скважины Необходимость применения специального оборудования для получения ГЖС
Газ, воздух	Низкая плотность Высокая экологическая безопасность (при использовании воздуха и инертных газов)	Ухудшение условий очистки скважины от выбуренной породы Возможность бурения только в «сухих» разрезах При использовании воздуха – высокая пожаро- и взрывоопасность

### Исследование реологии газожидкостных смесей

Были исследованы следующие составы:

1) вода + комплекс ПАВ (0,1 %) + глицерин (1 %) + ПАА FP-107 (0,05 %) + КМК-БУР-2 (1 %) + бактерицид (0,05 %) + ГКЖ (0,5 %) + каустическая сода (0,5 %);

2) вода + комплекс ПАВ (0,1 %) + глицерин (1 %) + ПАА FP-107 (0,05 %) + «К.К. Робус» (0,05 %) + бактерицид (0,05 %) + ГКЖ (0,5 %) + каустическая сода (0,5 %);

3) вода + комплекс ПАВ (0,1 %) + глицерин (1 %) + ПАА «Praestol» (0,05 %) + КМК-БУР-2 (1 %) + бактерицид (0,05 %) + ГКЖ (0,5 %) + каустическая сода (0,5 %);

4) вода + комплекс ПАВ (0,1 %) + глицерин (1 %) + ПАА «Praestol» (0,05 %) + КМЦ (1 %) + бактерицид (0,05 %) + ГКЖ (0,5 %) + каустическая сода (0,5 %);

5) вода + комплекс ПАВ (0,1 %) + глицерин (1 %) + робус (0,05 %) + КМК (1 %) + бактерицид (0,05 %) + ГКЖ (0,5 %) + каустическая сода (0,5 %).

В табл. 3 представлены результаты исследования реологических параметров этих смесей. Реологические свойства газожидкостных смесей исследовались на ротационном вискозиметре «Rheotest RN 4.1», определение статического напряжения сдвига (СНС) проводилось на приборе СНС-2. Для оценки реологических характеристик были приняты следующие допущения: не учитывалась степень разрушения тиксотропной структуры ГЖС, предполагалось незначительное влияние этого эффекта на результаты показаний; измерения проводились при нормальном атмосферном давлении и комнатной температуре.

Таблица 3  
Реологические характеристики газожидкостных смесей

№ р-ра	Вязкость ГЖС при $100 \text{ с}^{-1}$ , $\text{мPa}\cdot\text{s}$	Вязкость ГЖС при $600 \text{ с}^{-1}$ , $\text{мPa}\cdot\text{s}$	Напряжение сдвига ГЖС при $100 \text{ с}^{-1}$ , Па	Напряжение сдвига ГЖС при $600 \text{ с}^{-1}$ , Па	СНС ГЖС, Па	Показатель текучести $n$	Коэффициент консистенции $k$ , $\text{Па}\cdot\text{s}^{(1/n)}$	Степень определенности, $\sigma$
1	123,10	56,58	12,86	34,12	22,95	0,470	1,51	0,97
2	134,70	53,96	14,11	32,54	62,55	0,394	2,34	0,96
3	165,20	68,51	17,33	41,35	74,25	0,461	2,04	0,99
4	366,70	132,30	38,75	79,94	49,50	0,400	5,99	1,00
5	148,60	53,94	15,54	32,56	91,35	0,463	1,74	0,99

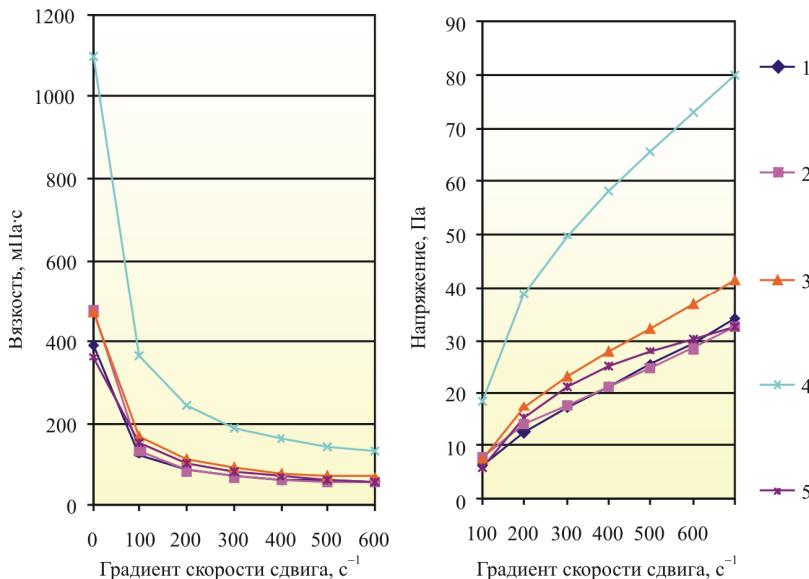


Рис. 3. Реологическая характеристика ГЖС

ре. Допускалось, что реологические характеристики ГЖС могут изменяться во время измерений только при изменении физических условий, но при восстановлении этих условий характеристики остаются адекватными [13].

Экспериментальные данные и результаты их обработки доказывают, что течение исследуемых газожидкостных смесей в диапазоне скоростей сдвига от  $100$  до  $600 \text{ с}^{-1}$  может быть описано реологическим уравнением Оствальда–де Ваале со степенью определенности  $\sigma = 0,96 \dots 1,00$ . Графическое подтверждение представлено на рис. 3. Исследуемые ГЖС обладают свойствами твердого тела, которые проявляются в наличии высоких значений СНС.

Проведённые исследования показали, что применение использованных в данной работе стабилизаторов и структурообразователей позволяет получить стабильные газожидкостные смеси, показанные к применению в условиях АНПД, но для этого необходимо провести изучение проникающей способности растворов в горные породы. С точки зрения технологической и экономической эффективности для окончательных рекомендаций по композициям ГЖС представляет интерес состав, включающий в себя в качестве структурообразующей и стабилизирующей добавки ПАА FP-107 (0,05 %) + КМК-БУР-2 (1 %); в дальнейшем планируется провести исследования по изучению его проникающей способности в горные породы.

## Заключение

Ввод в качестве реагента стабилизатора комплекса из высокомолекулярного акрилового полимера FP-107 и карбоксиметил крахмала КМК-БУР-2 позволяет получить стабильные газожидкостные смеси, обладающие пенообразующей способностью при повторном перемешивании после разрушения пен, что необ-

ходимо для обеспечения многоциклового использования раствора.

Реологическое поведение данных газожидкостных смесей описывается степенной моделью Оствальда–де Ваала, а низкие значения коэффициента нелинейности характеризуют их высокую псевдопластичность, что позволяет использовать их для вскрытия продуктивных пластов при заанчивании скважин.

## Список литературы

1. Турицына М.В. Первичное вскрытие пластов с аномально низкими давлениями. Теория и практика современного состояния вопроса // Севергеоэкотех-2011: материалы XII Междунар. молодежной науч. конф., Ухта, 16–18 марта 2011: в 5 ч. Ч. 2. – Ухта: Изд-во УГГТУ, 2011. – С. 62–65.
2. Мелехин А.А., Чернышов С.Е., Турбаков М.С. Расширяющиеся тампонажные составы для ликвидации поглощений при креплении обсадных колонн добывающих скважин // Нефтяное хозяйство. – 2012. – № 3. – С. 50–52.
3. Бабушкин Э.В., Бакиров Д.Л. Разработка и опыт применения облегченных полыми микросферами буровых растворов на месторождениях Когалымского региона // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2009. – № 10. – С. 24–29.
4. Амиян В.А., Амиян А.В., Васильева Н.П. Вскрытие и освоение нефтегазовых пластов. – М.: Недра, 1980. – 384 с.
5. Чернышов С.Е., Турбаков М.С., Крысин Н.И. Расширяющий тампонажный раствор для проведения водоизоляционных работ в скважинах // Нефтяное хозяйство. – 2011. – № 1. – С. 78–80.
6. Булатов А.И., Макаренко П.П., Проселков Ю.М. Буровые промывочные и тампонажные растворы: учеб. пособие для вузов. – М.: Недра, 1999. – 424 с.
7. Булатов А.И., Проселков Ю.М., Рябченко В.И. Технология промывки скважин. – М.: Недра, 1981. – 301 с.
8. Масляков А.П. Буровые растворы для вскрытия продуктивных пластов // Обзор ВНИИО-ЭНГ. Серия «Бурение». – М., 1985. – 60 с.
9. Грей Дж., Дарли Г. Состав и свойства буровых агентов. – М.: Недра, 1985. – 510 с.
10. Безглинистая промывочная жидкость для бурения горизонтальных скважин и вскрытия продуктивных горизонтов / Ю. Лубан, А. Розенгафт, С. Лубан, Г. Наконечная, В. Онищенко // Oil&Gas Journal. – 2008. – № 10 (23). – С. 62–67.
11. Межлумов А.О. Бурение скважин и вскрытие продуктивных пластов с использованием газообразных агентов, газожидкостных систем и традиционных буровых растворов на депрессии // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2003. – № 5. – С. 65–69.
12. Мураев Ю.Д. Газожидкостные системы в буровых работах / СПГТИ(ТУ). – СПб., 2004. – 123 с.
13. Чернышов С.Е., Турбаков М.С., Крысин Н.И. Основные направления повышения эффективности строительства боковых стволов // Нефтяное хозяйство. – 2011. – № 8. – С. 98–100.
14. Яковлев А.А. Газожидкостные промывочные и тампонажные смеси (комплексная технология бурения и крепления скважин). – СПб.: Изд-во СПГТИ (ТУ), 2000. – 143 с.
15. Negrao A.F., Lage A.C.V.M., Cunha J.C. An overview of air/gas/foam frilling in Brazil // SPE Drill. And Complet. – 1999. – 14, № 2. – Р. 109–114.
16. Quintero L. An overview of surfactant applications in drilling fluids for the petroleum industry // J. Dispers. Sci. and Technol. – 2002. – 23, № 1–3. – Р. 393–404.
17. Baker hughes drilling fluids – Reference manual, 2006.
18. Drilling, completion and workover fluids. Special supplement to «World Oil» (published in June 2007) // Приложение к журналу «Нефтегазовые технологии». – 2007. – № 6. – С. 64.
19. Murray A.S., Eckell J.E. Foaming agents in air drilling // Canadian Oil and Gas Industries. – 1960. – XI, Vol. 13, № 11. – Р. 51–55.
20. Рязанов Я.А. Энциклопедия по буровым растворам. – Оренбург: Летопись, 2005. – 664 с.

## References

1. Turitsina M.V. Pervichnoe vskrytie plastov s anomal'no nizkim davleniiami, Teoriia i praktika sovremenennogo sostoianiia voprosa [Initial autopsy with abnormally low reservoir pressures. Theory and practice of the modern state of matter]. Materialy 12<sup>th</sup> Mezhdunarod. molodezhnoi nauch. konf. "Severgeoekotekh-2011", Ukhta, Vol. 5, ch. 2, pp. 62–65.
2. Melekhin A.A., Chernyshov S.E., Turbakov M.S. Rasshirjajuwiesja tamponazhnye sostavy dlja likvidacii poglowenij pri kreplenii obsadnyh kolonn dobvajujivih skvazhin [Expanding plugging compositions

for the elimination of acquisitions in the mount casing wells]. *Neftyanoe khozyaystvo – Oil industry*, 2012, no. 2, pp. 50–52.

3. Babushkin È.V., Bakirov D.L. Razrabotka i opyt primenjenija oblegchennyh polymi mikrosferami burovyh rastvorov na mestorozhdenijah Kogalymskogo regiona [Development and experience with light-weight hollow microspheres in the fields of drilling fluids Kogalym region]. *Construction of oil and gas wells on land and at sea*, 2009, no. 10, pp. 24–29.

4. Amian V.A., Amian A.V., Vasil'jeva N.P. Vskrytie I osvoenie neftegazovokh plastov [Autopsy and development of oil and gas reservoirs]. Moscow: Nedra, 1980. 384 s.

5. Chernyshov S.E., Turbakov M.S., Krysin N.I. Rasshirjajuwij tomponazhnyj rastvor dlja provedenija vodoizoljacionnyh rabot v skvazhinah [Extends tomponazhny solution for waterproofing works in wells]. *Neftyanoe khozyaystvo – Oil industry*, 2011, no. 1, pp. 78–80.

6. Bulatov A.I., Makarenko P.P., Proselkov Iu.M. Burovye promyvochnie i tamponazhnie rastvory [Drilling and grouting wash solutions]. Moscow: Nedra-Biznessentr, 1999. 424 s.

7. Bulatov A.I., Proselkov Iu.M., Riabchenko V.I. Tekhnologija promyvki skvazhin [Wash wells technology]. Moscow: Nedra, 1981. 301 s.

8. Masliakov A.P. Burovie rastvory dlja vskrytiia produktivnikh plastov [Drilling fluids for the opening of productive layers]. *Obzor VNIOÉNG. Seriya «Burenie»*, 1985. 60 s.

9. Grey J., Darly G. Sostav I svoistva burovikh agentov [Composition and properties of drilling agents]. Moscow: Nedra, 1985. 510 s.

10. Luban Iu., Rozengaft A., Luban S., Nakonechnaia G., Onishchenko V. Bezglinstaia promyvochnia zhidkost' dla burenia horizontal'nikh skvazhin I vskrytiia produktivnikh gorizontov [Clayless drilling fluid for drilling horizontal wells and the opening of productive horizons]. *Oil&Gas Journal*, 2008, no. 10 (23), pp. 62–67.

11. Mezhlumov A.O. Burenie skvazhin I vskrytie produktivnikh plastov s ispol'zovaniem gazobraznikih agentov, gazozhidkostnikh sistem i tradisionnikh burovikh rastvorov na depressii [Drilling and drilling-with gas-like agents, gas-liquid systems and traditional mud on depression]. *Stroitel'stvo neftianikh i gazovikh skvazhin na sushi i na more*, 2003, no. 5, pp. 65–69.

12. Muraev Iu.D. Gazozhidkostnie sistemy v burovikh rabotakh [Gas-liquid systems in drilling operations]. Saint-Petersburg: SPGGI(TU), 2004. 123 s.

13. Chernyshov S.E., Turbakov M.S., Krysin N.I. Osnovnye napravlenija povyshenija effektivnosti stroitel'stva bokovych stvolov [The main directions of improving the efficiency of the construction of laterals]. *Neftyanoe khozyaystvo – Oil industry*, 2011, no. 1, pp. 98–100.

14. Iakovlev A.A. Gazozhidkostnie promyvochnie i tamponazhnie smesi (kompleksnaia tekhnologija burenija i krepleniia skvazhin) [Gas-liquid washing and grouting mixture (complex technology of drilling and well casing)]. Saint-Petersburg: SPGGI(TU), 2000. 143 s.

15. Negrao A.F., Lage A.C.V.M., Cunha J.C. An overview of air/gas/foam frilling in Brazil. *SPE Drill. And Complet*, 1999, no. 2, pp. 109–114.

16. Quintero L. An overview of surfactant applications in drilling fluids for the petroleum industry. *Journal Dispers. Sci. and Technol*, 2002, no. 1–3, pp. 393–404.

17. Baker Hughes drilling fluids. Reference manual, 2006.

18. Drilling, completion and workover fluids. Special supplement to «World Oil» (published in June 2007). *Prilozhenie k zhurnalu «Neftegazovie tekhnologii»*, 2007, no. 6, pp. 64.

19. Murray A.S., Eckell J.E. Foaming agents in air drilling. *Canadian Oil and Gas Industries*, 1960, no. 11, Vol. 13, pp. 51–55.

20. Riazanov Ia. A. Entsiklopedija po burovym rastvorom [Encyclopedia of muds]. Orenburg: Letopis', 2005. 664 s.

## Об авторах

**Яковлев Андрей Арианович** (Санкт-Петербург, Россия) – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры механики Национального минерально-сырьевого университета «Горный» (199106, г. Санкт-Петербург, 21-я линия В.О., 2; e-mail: andre\_a\_yakovlev@mail.ru).

**Турицина Мария Владимировна** (Санкт-Петербург, Россия) – аспирант кафедры бурения скважин Национального минерально-сырьевого университета «Горный» (199106, г. Санкт-Петербург, 21-я линия В.О.; 2, e-mail: turitsyna\_maria@mail.ru).

## About the authors

**Iakovlev Andrey A.** (Saint-Petersburg, Russia) – dr. professor, department for mechanics, National mineral and resources University «Gornyi» (199106, Saint-Petersburg, 21st line B.O., 2; e-mail: andre\_a\_yakovlev@mail.ru).

**Turitsina Maria V.** (Saint-Petersburg, Russia) – graduate student, department for well-drilling, National mineral and resources University «Gornyi» (199106, Saint-Petersburg, 21st line B.O., 2; e-mail: turitsyna\_maria@mail.ru).

Получено 12.05.2012