

УДК 622.276.652, 622.276.4, 550.7:576.8

DOI: 10.15372/ChUR2023459

EDN: TRRUAP

Влияние многофункциональной нефтewытесняющей композиции МИКА и ее компонентов на пластовую микрофлору Усинского месторождения

В. С. ОВСЯННИКОВА, А. Г. ЩЕРБАКОВА

*Институт химии нефти СО РАН,
Томск (Россия)**E-mail: varja@ipc.tsc.ru*

Аннотация

Для увеличения нефтеотдачи в Институте химии нефти СО РАН разработана новая многофункциональная композиция МИКА (МФК МИКА), которая обладает как нефтеотмывающими свойствами, так и способностью выравнивать фронт вытеснения, увеличивая охват пласта заводнением. Проведено лабораторное тестирование МФК МИКА и ее компонентов (глицерин, карбамид и борная кислота) на пластовой микрофлоре трех групп – на углеводородокисляющих и денитрифицирующих бактериях (УОБ и ДНБ соответственно) как возможных агентов увеличения нефтеотдачи и сульфатовосстанавливающих бактериях (СВБ) как коррозионно-опасной группе. Показано, что УОБ положительно реагировали на все варианты внесения компонентов, а также на разбавленные в 20–50 раз растворы композиции. Присутствие борной кислоты, в том числе в бинарных системах с карбамидом и глицерином, подавляло рост ДНБ, несмотря на стимулирующее влияние глицерина и карбамида. Многофункциональная композиция МИКА положительно влияла на численность ДНБ при разбавлении в 20 и 50 раз. В ходе опытно-промышленных работ в 2020–2021 гг. на Усинском месторождении выявлено положительное влияние МФК МИКА на группы УОБ и ДНБ и подавление численности СВБ. Эффект снижался через 8–10 месяцев за счет многократного разбавления композиции и выхода ее из пласта. Такое действие МФК МИКА и ее компонентов может быть оценено двумя положительными эффектами: ростом численности УОБ и ДНБ как потенциальных агентов нефтewытеснения и подавлением активности СВБ как агента сульфидной коррозии оборудования.

Ключевые слова: многофункциональная композиция для увеличения нефтеотдачи, пластовая микрофлора, углеводородокисляющие бактерии, денитрифицирующие бактерии, сульфатовосстанавливающие бактерии

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы в связи с исчерпанием запасов легких нефтей тяжелые нефти стали важным резервом мировой добычи углеводородов, что определяет актуальность совершенствования методов увеличения нефтеотдачи [1, 2]. Одним из основных методов разработки низкотемпературных месторождений высоковязких нефтей является тепловая, основанная на снижении вязкости нефти под действием горячей воды или пара [3, 4]. Для повышения эффектив-

ности термического воздействия на пласт коллективом Института химии нефти СО РАН (ИХН СО РАН, Томск) разработан ряд термотропных композиций, среди которых – многофункциональная композиция МИКА (МФК МИКА), выполняющая как нефтewытесняющую, так и потокоотклоняющую функцию, благодаря поверхностно-активным веществам (ПАВ) и буферной системе, а также регулируемой вязкости.

Для принятия решения о внедрении того или иного состава на месторождении немаловажно

влияние этого состава на пластовую микрофлору, в частности на коррозионно-активные группы сульфатовосстанавливающих и тионовых бактерий.

Ранее было показано, что разработанные в ИХН СО РАН композиции способны стимулировать рост углеводородокисляющей пластовой микрофлоры [5]. Эта группа микроорганизмов в ходе жизнедеятельности может вырабатывать ряд метаболитов, участвующих в нефтевытеснении – жирные кислоты, альдегиды, эфиры, газы, что может быть использовано в биотехнологиях повышения нефтеотдачи.

Многофункциональная композиция МИКА содержит вещества, как участвующие в микробном метаболизме (глицерин, карбамид), так и угнетающие его (борная кислота). Влияние на бактерии и грибы этих веществ и их сочетаний ранее исследовались другими коллективами [6–8].

Цель настоящей работы – лабораторное тестирование МФК МИКА и ее компонентов по отношению к пластовой микрофлоре трех групп – к углеводородокисляющим и денитрифицирующим бактериям (УОБ и ДНБ соответственно) как возможным агентам увеличения нефтеотдачи и сульфатовосстанавливающим бактериям (СВБ) как коррозионно-опасной группе. Также приведены результаты крупномасштабного исследования в ходе опытно-промышленных работ с применением МФК МИКА на пермокарбоневой залежи Усинского месторождения.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В качестве тест-объектов использовались сообщества пластовой микрофлоры физиологических групп: углеводородокисляющей, денитрифицирующей и сульфатовосстанавливающей.

Группу аэробных УОБ из пластовых флюидов выделяли на плотной агаризованной среде, отдельные штаммы отсеивали на скошенный агар. Перед экспериментом готовили ассоциацию культур в виде суспензии в минеральной среде Мюнца с гексадеканом в виде единственного источника углерода и энергии [9].

Группу ДНБ выделяли из пластовой воды и хранили на жидкой селективной среде Гильтая [10, 11].

Группу СВБ выделяли из пластовой воды и хранили на жидкой селективной среде Таусона [10, 11].

Для изучения влияния МФК МИКА и ее компонентов на разные группы микрофлоры го-

товили суспензии клеток на соответствующих жидких средах, на основе суспензий делали растворы композиции и ее компонентов в определенных концентрациях. Численность клеток в исходной суспензии и после 1 сут контакта с тестируемым веществом определяли посевом на соответствующие среды: чашечным методом на агаризованную среду Мюнца для УОБ, методом предельных разведений на жидкие среды Гильтая и Таусона для ДНБ и СВБ соответственно. Учет численности УОБ вели подсчетом числа колоний через 5–7 сут, ДНБ – через 3–5 сут, а СВБ – через 25–30 сут по методу Мак-Креди [12].

В состав МФК МИКА входят нефтенол (ПАВ), борная кислота, карбамид, хлорид алюминия, аммиачная селитра и глицерин.

В данной работе были протестированы карбамид (1 и 0.1 %), глицерин (7 и 0.7 %) и борная кислота (1 и 0.1 %), а также бинарные системы “борная кислота – глицерин” и “борная кислота – карбамид” в определенных молярных соотношениях компонентов: 1.44 % борной кислоты + 8.56 % глицерина и 4 % борной кислоты + 5.9 % карбамида, а также десятикратно разбавленные системы.

Готовую МФК МИКА исследовали при разбавлении в 5, 10, 20 и 50 раз в соответствующих питательных средах, что моделирует ее разбавление нагнетаемой и пластовой водой по мере продвижения по пласту от нагнетательных скважин к добывающим.

Влияние МФК МИКА на микрофлору разных групп в пластовых условиях исследовали на примере пермокарбоневой залежи Усинского месторождения, где в конце 2020 – начале 2021 года были проведены опытно-промышленные испытания этой композиции. Пласт предварительно был прогрет горячей водой в течение нескольких месяцев. Композицию вводили в семь нагнетательных скважин (скв.). Отбор и анализ проб из групп добывающих скважин вокруг нагнетательных проводили до всех обработок, в ходе закачки горячей воды, во время закачки МФК МИКА и в течение одного года после ее окончания. Во всех пробах анализировали содержание микрофлоры трех групп. В данной работе приведены обобщенные данные по микробиологическим анализам для очагов четырех нагнетательных скважин и зоны совместного влияния двух из них, где добывающие скважины сложно отнести к какому-то одному очагу в силу их промежуточного расположения, – это

скв. 9038, 9040, 1108/2 и 1140/2, а также зона между скв. 1108/2 и 1140/2. В каждую группу входило 7–19 скважин. Поскольку в каждой партии число образцов различалось и всегда наблюдался разброс численности микрофлоры, то на графиках отражены максимальные по данным отбора значения.

Контроль выхода композиции из добывающих скважин вели по изменению в пластовой воде концентрации ее компонентов: карбамида, аммиачной селитры, иона аммония и гидрокарбонатов (как продукта гидролиза карбамида).

Концентрацию в воде нитрат-иона и иона аммония определяли методом капиллярного электрофореза с помощью прибора “Капель-105” (Россия) [13].

Концентрацию карбамида определяли с использованием фотоколориметра КФК-2 (Россия) при 490 нм по формированию окрашенного в красный комплекса с диацетилмонооксидом в сильноокислой среде в присутствии тиосемикарбазида и ионов трехвалентного железа.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Ассоциация УОБ положительно отреагировала на все варианты концентраций исследуемых компонентов МФК МИКА: рост численности отмечен в присутствии карбамида и борной кислоты в концентрациях 1 и 0.1 %, а также 7 и 0.7 % глицерина (табл. 1). Максимальный рост отмечен в присутствии 0.7 % глицерина – до 4 млрд клет/см³ (в 500 раз), в остальных вариантах – в 3–5 раз.

Глицерин усваивается широким спектром микроорганизмов, в том числе и УОБ, а карбамид служит источником биогенного элемента – азота, дефицитного в пластовых водах и необходимого для метаболизма УОБ, что объясняет положительный отклик УОБ на их внесение. Борная кислота, являющаяся слабым бактерицидом, в исследуемых концентрациях (0.1 и 1 %) тем не менее не остановила рост УОБ.

На группу ДНБ стимулирующее влияние оказало внесение карбамида и глицерина, в

ТАБЛИЦА 1

Влияние добавки компонентов и готовой многофункциональной композиции (МФК) МИКА в разных разбавлениях на численность пластовой микрофлоры, млн клет/см³

Добавка, концентрация, %	Численность		
	УОБ	ДНБ	СВБ
Без добавок ^а	7	11.0	0.25
Однокомпонентная система:			
Карбамид (К) 1 %	23	70.0	0.11
К 0.1 %	28	110.0	0.70
Глицерин (Гл) 7 %	40	70.0	0.25
Гл 0.7 %	4000	230.0	0.25
Борная кислота (БК) 1 %	25	2.5	0.03
БК 0.1 %	60	7.0	0.07
Бинарная система:			
БК 1.44 % + Гл 8.56 %	24	2.5	0.025
БК 0.14 % + Гл 0.86 %	800	7.0	0.07
БК 4 % + К 5.9 %	24	1.3	0.00025
БК 0.4 % + К 0.6 %	180	7.0	1.10
Многофункциональная композиция:			
МФК МИКА ^б	35	11.0	0.25
МФК МИКА, разбавление 1 : 4 (0.4–1.0 % БК + 2.0–6.0 % К + 4.0–10.0 % Гл и др.) ^в	19	0.3	0.000013
МФК МИКА, разбавление 1 : 9 (0.2–0.5 % БК + 1.0–3.0 % К + 2.0–5.0 % Гл и др.) ^в	21	5.0	0.00013
МФК МИКА, разбавление 1 : 19 (0.1–0.25 % БК + 0.5–1.5 % К + 1.0–2.5 % Гл и др.) ^в	30	20.0	0.0007
МФК МИКА, разбавление 1 : 49 (0.04–0.1 % БК + 0.2–0.6 % К + 0.4–1.0 % Гл и др.) ^в	136	110.0	0.007

^а Исходная численность микрофлоры.

^б Исходная численность микрофлоры с МФК МИКА.

^в В скобках указано содержание основных компонентов МФК МИКА.

присутствии которых их численность возрастала в 7–18 раз во всех вариантах, а в присутствии 1 и 0.1 % борной кислоты – снижалась в 4 и 1.5 раза соответственно.

Рост СВБ отмечен лишь в присутствии 0.1 % карбамида, внесение глицерина на СВБ не повлияло, а борная кислота на СВБ оказала бактерицидное действие. При начальной численности 11 тыс. клет/см³ в присутствии 0.1 % борной кислоты количество СВБ снизилось в 3.5 раза, а с 1 % – в 10 раз (см. табл. 1).

На тех же группах микроорганизмов были протестированы бинарные системы “борная кислота – глицерин” и “борная кислота – карбамид” в определенных молярных соотношениях компонентов: 1.44 % борной кислоты + 8.56 % глицерина и 4 % борной кислоты + 5.9 % карбамида, а также десятикратно разбавленные системы (см. табл. 1). Содержания компонентов в этих вариантах приблизительно соответствуют разбавлению МФК МИКА в 2–5 и 20–50 раз. В составе бинарных систем влияние компонентов на рост микрофлоры сохранялось, несмотря на изменение величины эффекта. На группу УОБ системы “борная кислота – глицерин” и “борная кислота – карбамид” оказали положительное влияние во всех исследованных концентрациях, вызвав рост численности в 3–100 раз, а на группу ДНБ и СВБ – отрицательное, за исключением варианта с 0.4 % борной кислоты и 0.6 % карбамида. В остальных случаях численность ДНБ и СВБ снизилась в 1.5–1000 раз (см. табл. 1).

Кроме вышеназванных компонентов, в состав композиции входят также ПАВ, хлорид алюминия и нитрат аммония в концентрациях 2, 2 и 10 % соответственно. Поверхностно-активные вещества в концентрациях 0.4 и 0.04 %, что соответствует разбавлению МФК МИКА в 5 и 10 раз, стимулируют численность УОБ, а нитрат-ион задействован в жизненном цикле группы ДНБ в качестве терминального акцептора электронов в анаэробных условиях.

Присутствие МФК МИКА оказало положительное влияние на УОБ при разбавлении в 50 раз, на ДНБ – при разбавлении в 20 и 50 раз (см. табл. 1). В пятикратном разбавлении композиция снизила численность УОБ в 1.7 раза, ДНБ – в 36 раз, в десятикратном – в 1.8 и 2.2 раза соответственно. Рост СВБ ингибировался при всех исследованных концентрациях МФК МИКА – в 35 раз при 50-кратном разбавлении, а в более концентрированных растворах оставались десятки и сотни клеток в см³ (см. табл. 1).

Селективное ингибирование группы СВБ под действием МФК МИКА может быть полезным, особенно для пластов с высоким содержанием сульфатов в пластовой воде и сульфатовосстанавливающей микрофлоры, так как сероводород, образуемый ею в ходе жизнедеятельности из сульфатов, вызывает сульфидную коррозию железа, способствуя износу оборудования и трубопроводов.

Ранее установлено, что активизация ДНБ в нефтяном пласте позволяет подавить образование сероводорода группой СВБ, так как восстановление нитратов энергетически более выгодно, чем сульфатов, а образуемый денитрификаторами нитрит токсичен для многих СВБ [14].

Поэтому факторы, стимулирующие рост денитрифицирующей микрофлоры, потенциально подавляют рост группы СВБ в нефтяном пласте.

Это было подтверждено в условиях реального нефтяного пласта в ходе опытно-промышленных испытаний МФК МИКА, закачиваемой после прогрева пласта горячей водой. Испытания проходили на пермокарбоновой залежи Усинского месторождения, характеризующегося высоковязкой высокосернистой нефтью, высокоминерализованными водами с постоянным присутствием сульфат-иона в концентрациях 50–1000 мг/дм³. В пластовых водах также содержатся калий, магний, кальций и другие ионы, а такие биогенные факторы, как соединения фосфора и азота, в норме отсутствуют, что лимитирует рост групп УОБ и ДНБ.

В ходе двухлетнего исследования (до обработки, в ходе закачки горячей воды и после обработки МФК МИКА) установлено, что большая часть проб содержали незначительное количество микрофлоры – от единиц до десятков клеток в см³, около 10 % проб – свыше 1 тыс. клет/см³, а порядка трети проб определялись как стерильные. Пиковые численности микрофлоры разных групп сильно различались: количество УОБ могло достигать 0.6–2 млн клет/см³, ДНБ – 0.01–0.11 млн клет/см³, СВБ – лишь 0.25–1.1 тыс. клет/см³.

Обобщенные по этапам обработки данные микробиологических анализов в очагах четырех нагнетательных скважин и зоны совместного влияния двух из них показывают, что максимальная численность УОБ однозначно возрастала в ходе закачки горячей воды и после применения МФК МИКА в очагах скв. 9038, 9040, 1108/2 и мало менялась в очаге скв. 1140/2

ТАБЛИЦА 2

Изменение максимальной численности микрофлоры по очагам нагнетательных скважин в ходе опытно-промысловых работ по закачке МФК МИКА, тыс. клет/см³

Номер нагнетательной скважины	Группа микроорганизмов	Этапы опытно-промысловых работ		
		До обработок	Обработка горячей водой	Обработка МФК МИКА
9038	УОБ	0.17	1480.0	2400.0
	ДНБ	0.01	11.0	11.0
	СВБ	0.001	1.1	0.25
9040	УОБ	0.1	560.0	1280.0
	ДНБ	0.03	0.25	11.0
	СВБ	0.001	0.25	0.001
1140/2	УОБ	19.0	4.5	16.5
	ДНБ	0.25	11.0	110.0
	СВБ	0.001	0.025	0.25
1108/2	УОБ	0.07	160.0	200.0
	ДНБ	0.06	1100.0	0.25
	СВБ	0.03	0.025	0.001
Между 1140/2 и 1108/2	УОБ	32.0	340.0	480.0
	ДНБ	11.0	0.12	110.0
	СВБ	0.025	0.013	0.25

Примечание. УОБ, ДНБ и СВБ – углеводородокисляющие, денитрифицирующие и сульфатвосстанавливающие бактерии соответственно.

(табл. 2); денитрификаторов (ДНБ) – возрастала в очагах скв. 9038, 9040, 1140/2, а СВБ – в очаге скв. 1140/2 и зоне ее совместного влияния со скв. 1108/2 (см. табл. 2).

Изменения максимальных значений численности микрофлоры разных групп по датам отбора показаны на примере очагов нагнетательных скв. 9038 и 1140/2 (рис. 1). В ходе закачки горячей воды отмечены колебания численности УОБ и ДНБ, связанные с постепенным прогревом пласта от благоприятных (30–40 °С) до неблагоприятных (выше 70–80 °С) для жизнедеятельности бактерий температур (см. рис. 2, а, б, г, д).

Максимальная по очагам численность и частота встречаемости СВБ сразу после закачки резко снижалась, восстанавливаясь до исходной или несколько превышая ее, через 9–12 месяцев после закачки МФК МИКА (см. рис. 2, в, е).

Так как по мере продвижения по пласту композиция разбавляется закачиваемой водой, а затем выходит, ее влияние на микрофлору (стимулирующее – на углеводородокисляющую и денитрифицирующую, подавляющее – на сульфатвосстанавливающую) ослабевает.

Это явление было установлено и для очагов других нагнетательных скважин (9040, 1108/2) и зоны между скв. 1140/2 и 1108/2.

Скачки максимальной численности могут быть связаны с разным количеством анализируемых

проб и несовпадением набора скважин в одном и том же очаге в разные даты. Кроме того, различная скорость движения по пласту горячей воды, а затем и фронта композиции, вследствие разной проницаемости, в свою очередь, неравномерно влияли на микрофлору в разных добывающих скважинах в одно и то же время. Фактические изменения численности микрофлоры исследованных групп показаны на примере нескольких добывающих скважин в очагах нагнетательных скв. 9038 и 1140/2 (рис. 3).

В пробах добываемых флюидов, отобранных на протяжении опытно-промышленных работ, кроме микробиологических показателей был определен ряд физико-химических характеристик, среди которых – концентрация компонентов МФК МИКА: нитрата аммония, карбамида и иона аммония.

Обобщенные по этапам обработки данные химических анализов в очагах четырех нагнетательных скважин и зоны совместного влияния двух из них, показывают, что ион аммония присутствовал в добываемой воде исследуемого участка и до начала работ, и в ходе закачки горячей воды как результат более ранних и текущих паро- и реагентоциклических обработок с применением других композиций. Однако после обработки МФК МИКА максимальные кон-

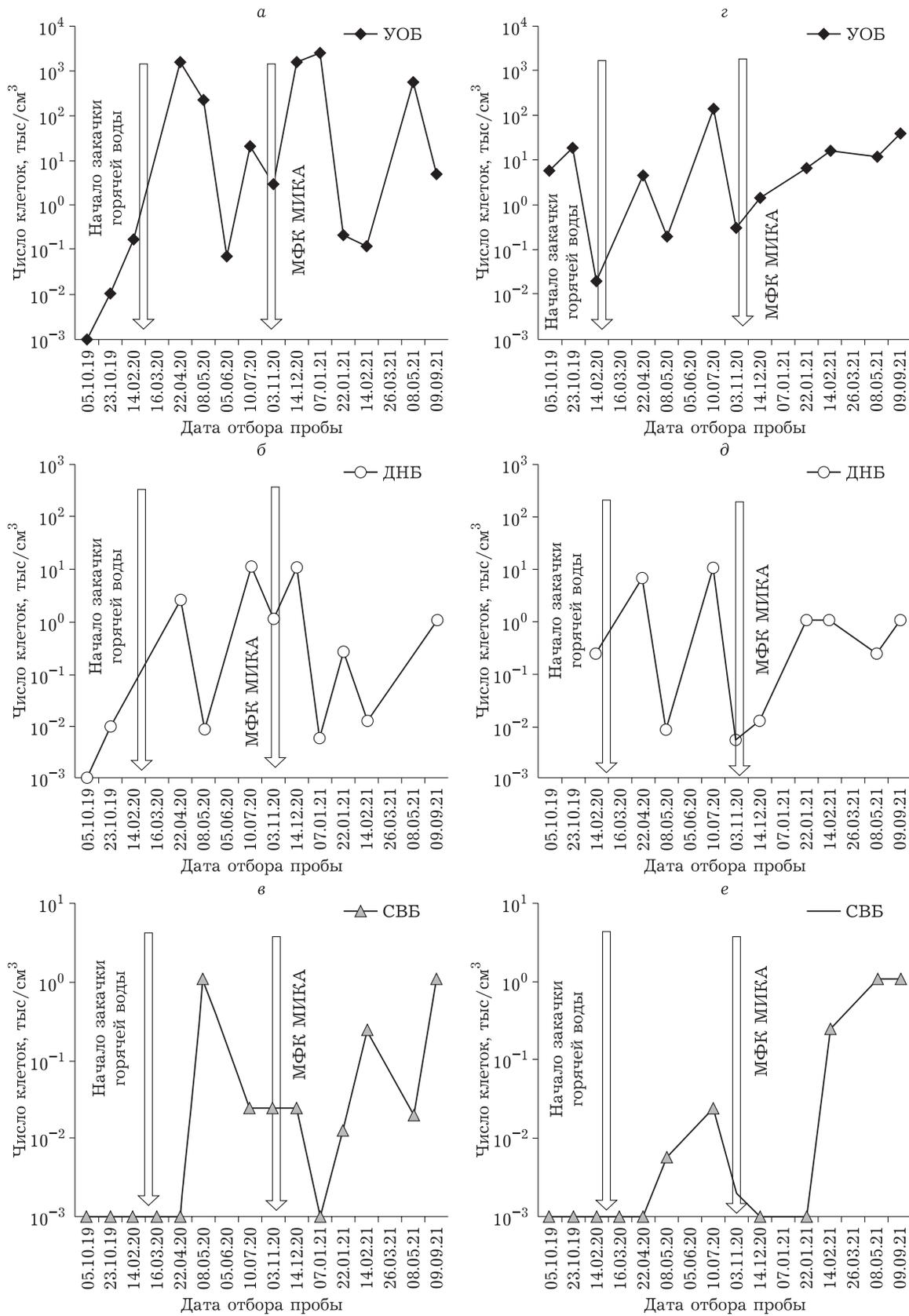


Рис. 1. Изменение численности пластовой микрофлоры в воде добывающих скважин из очагов скв. 9038 (а, б, в) и 1140/2 (г, д, е) после закачки горячей воды и МФК МИКА. Здесь и на рис. 3: УОБ, ДНБ и СВБ – углеводородокисляющие, денитрифицирующие и сульфатовосстанавливающие бактерии соответственно. Здесь и на рис. 4: МФК МИКА – многофункциональная композиция МИКА.

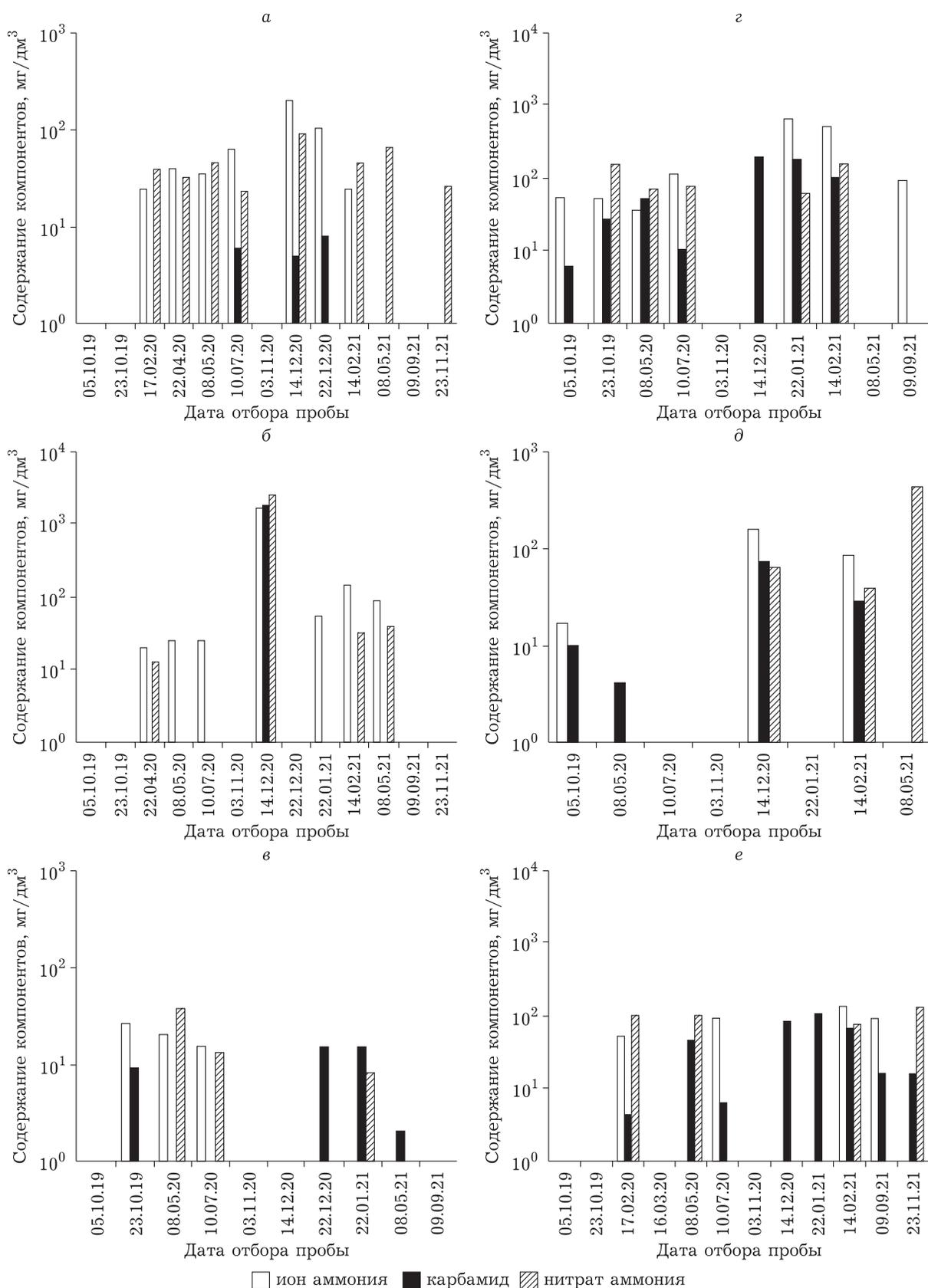


Рис. 2. Концентрация иона аммония, карбамида и нитрата аммония в пластиковой воде добывающих скважин в окружении скв. 9038: скв. 406 (а), 1026 (б), 9041 (в); в окружении скв. 1140/2: скв. 1031 (г), 1573 (д), 2758 (е). Отсутствие столбика – концентрация компонента равна нулю.

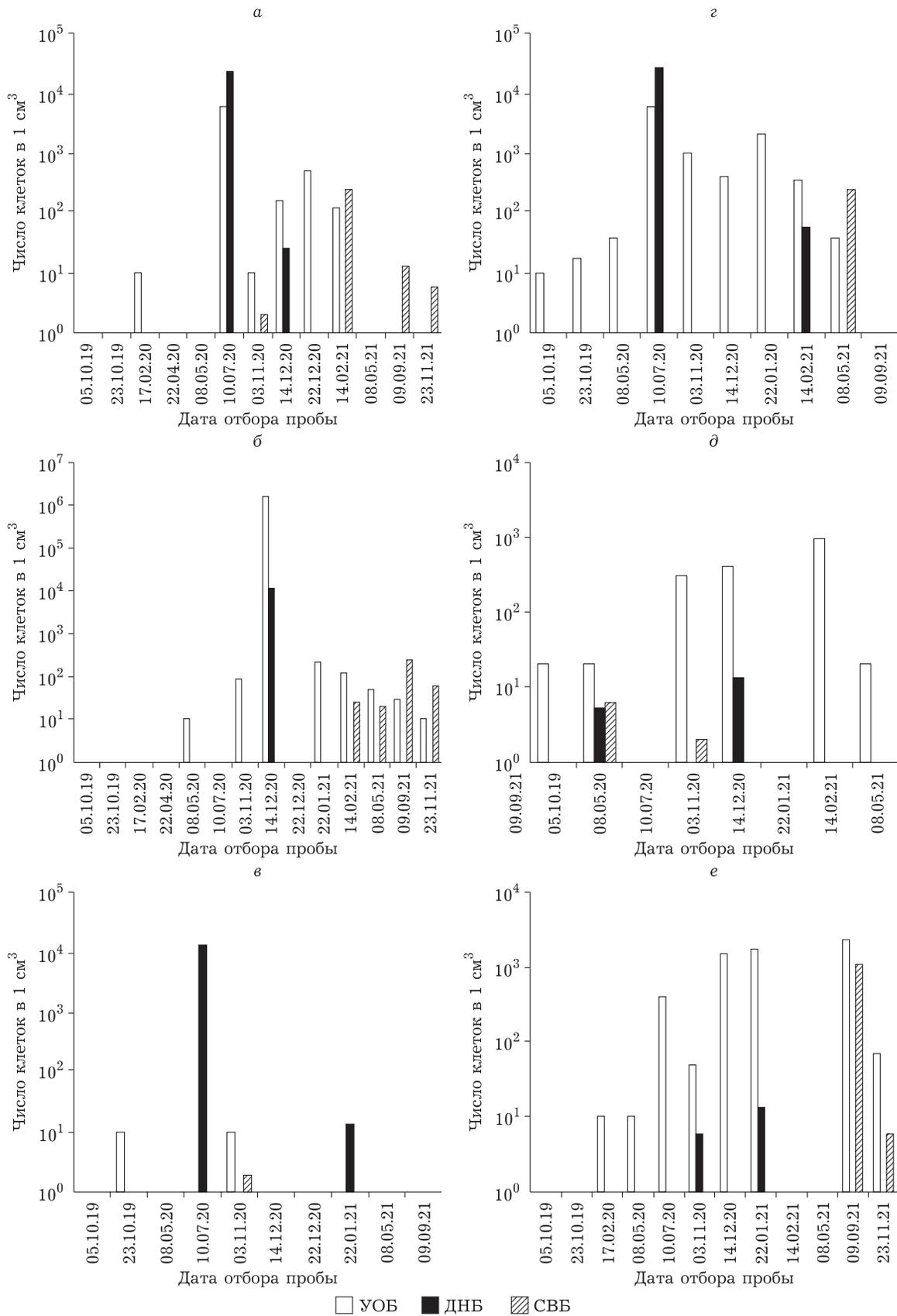


Рис. 3. Изменение численности пластовой микрофлоры в пробах из добывающих скважин в окружении скв. 9038: скв. 406 (а), 1026 (б), 9041 (в); в окружении скв. 1140/2: скв. 1031 (г), 1573 (д), 2758 (е). Отсутствие столбика – численность соответствующей группы равна нулю.

ТАБЛИЦА 3

Изменение максимальных концентраций в воде иона аммония, карбамида и аммиачной селитры по очагам добывающих скважин, мг/дм³

Номер нагнетательной скважины	Компонент	Этапы опытно-промысловых работ		
		До обработок	Обработка горячей водой	Обработка МФК МИКА
9038	NH_4^+	210	1100	1550
	$(\text{NH}_2)_2\text{CO}$	72	190	1880
	NH_4NO_3	52	129	3000
9040	NH_4^+	120	150	750
	$(\text{NH}_2)_2\text{CO}$	32	35	40
	NH_4NO_3	116	39	650
1140/2	NH_4^+	100	330	1100
	$(\text{NH}_2)_2\text{CO}$	56	260	260
	NH_4NO_3	47	58	3612
1108/2	NH_4^+	150	160	150
	$(\text{NH}_2)_2\text{CO}$	9	12	12
	NH_4NO_3	17	39	0
Между 1140/2 и 1108/2	NH_4^+	50	45	3500
	$(\text{NH}_2)_2\text{CO}$	13	13	165
	NH_4NO_3	26	20	9030

центрации компонентов кратно возросли в очагах всех нагнетательных скважин (табл. 3).

Ион аммония является как компонентом МФК МИКА, так и продуктом термического внутрипластового гидролиза карбамида в ее составе. Несмотря на то, что полной картины движения фронта композиции, ее гидролиза и разбавления получить невозможно, частично об этом можно судить по изменению максимальных концентраций аммония в воде из разных очагов (рис. 4). Так, в очаге скв. 9038 высокие концентрации иона аммония отмечены в ходе закачки МФК МИКА и непосредственно после нее, с после-

дующим снижением в течение 3–4 месяцев (см. рис. 4, а). А в окружении скв. 1140/2 отложенный максимум выхода аммония и меньшие его концентрации связаны с низкими дебитами участка и скоростью движения жидкости по пласту (см. рис. 4, б).

Изменение концентраций иона аммония, нитрата аммония и карбамида во флюидах конкретных добывающих скважин показаны на примере окружения скв. 9038 и 1140/2 (см. рис. 2). Карбамид под действием теплоносителя подвергается термическому гидролизу, поэтому его высокие концентрации свидетельствуют о недо-

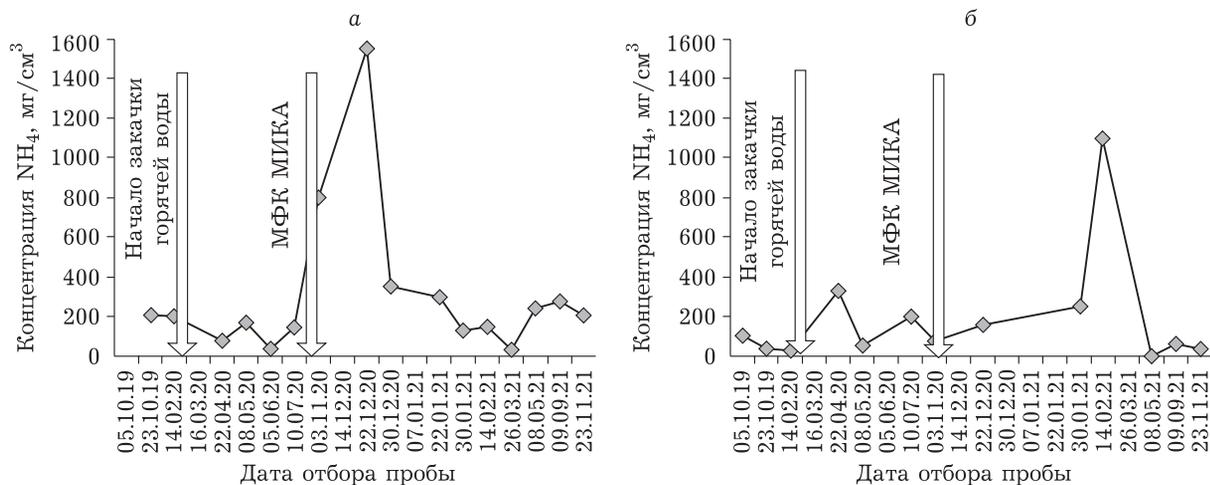


Рис. 4. Изменение максимальных концентраций иона аммония в воде в очагах нагнетательных скв. 9038 (а) и 1140/2 (б).

статочном прогреве пласта либо о прорыве фронта композиции по высокопроницаемым каналам от нагнетательной скважины к добывающим (см. рис. 2, б). Аммиачная селитра не преобразуется при попадании в пласт и не сорбируется породами пласта, поэтому служит трассером; ее присутствие в высоких концентрациях также свидетельствует о прорывах (см. рис. 2, б), а в средних и низких концентрациях (через 2–3 месяца после обработки) – о достижении фронта композиции определенной нагнетательной скважины (см. рис. 2, д). Оба этих компонента, а также ион аммония могут быть задействованы в жизненном цикле пластовых микроорганизмов, поэтому их присутствие вызывает рост численности и частоты встречаемости микрофлоры в добываемых флюидах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в лабораторных условиях установлено стимулирующее влияние разбавленных растворов МФК МИКА и ее компонентов (глицерин и карбамид) на рост пластовой микрофлоры (УОБ и ДНБ), а также угнетение СВБ под действием исследованных концентраций МФК МИКА и борной кислоты.

В составе бинарных систем с борной кислотой карбамид и глицерин сохранили положительное влияние на рост УОБ и подавляющее – на СВБ, но для ДНБ такие сочетания оказались неблагоприятными – их численность снижалась.

Двухлетний анализ в ходе опытно-промышленных работ с применением МФК МИКА показал ее стимулирующее влияние на углеводородоксилирующую микрофлору через 1–3 месяца после закачки с последующим снижением через 9–10 месяцев после ее окончания. На трех из пяти проанализированных участках после закачки МФК МИКА численность ДНБ возрастала, а СВБ – уменьшалась. Этот эффект снижался через 9–10 месяцев, по мере разбавления композиции и выхода ее из пласта.

В практическом плане обработка нагнетательных скважин МФК, включающими в состав карбамид, борную кислоту и глицерин, может вызвать два положительных эффекта со стороны микрофлоры: рост численности УОБ как потенциального агента нефтевытеснения и подавление активности СВБ как агента сульфидной коррозии оборудования.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института химии нефти СО РАН, финансируемого Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (НИОКТР 121031500048-1).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Милованов И. В. Совершенствование комплекса технологий и технических средств для интенсификации добычи нефти: автореферат. дис. ... канд. техн. наук. Уфа, 2009. 115 с.
- 2 Алтунина Л. К., Кувшинов В. А. Физико-химические основы увеличения нефтеотдачи пластов. Ч. 1. Основные понятия нефтепромыслового дела. Томск: Изд-во Томск. ун-та, 2001. 98 с.
- 3 Алтунина Л. К., Кувшинов В. А., Стасьева Л. А., Кувшинов И. В. Тенденции и перспективы развития физико-химических методов увеличения нефтеотдачи месторождений тяжелой нефти // Химия уст. разв. 2018. Т. 26, № 3. С. 261–277.
- 4 Сорокин С. А. Классификация методов увеличения нефтеотдачи // Научный форум. Сибирь. 2018. Т. 4, № 2. С. 57.
- 5 Алтунина Л. К., Кувшинов В. А. Физико-химические аспекты технологий увеличения нефтеотдачи (обзор) // Химия уст. разв. 2001. Т. 9, № 3. С. 331–344.
- 6 Пирог Т. П., Шевчук Т. А., Шулякова М. А. Метаболизм глицерина у продуцентов поверхностно-активных веществ *Acinetobacter calcoaceticus* ИМВ В-7241 и *Rhodococcus erythropolis* ИМВ АС-5017 // Микробиол. журнал. 2012. Т. 74, № 4. С. 29–36.
- 7 Ojo M. Boric acid tolerant *Vibrio cholerae*: Biological and physical properties // Acta Pathologica Microbiologica Scandinavica. Section B: Microbiology. 1975. Vol. 83B, No. 3. P. 293–294.
- 8 Haesebrouck F., Baele M., De Keyser H., Hermans K., Pasmans F. Antimicrobial activity of an acetic and boric acid solution against *Staphylococcus pseudointermedius* // Vlaams Diergeneeskund. Tijds. 2009. Vol. 78, No. 2. P. 89–90.
- 9 Романенко В. И., Кузнецов С. И. Экология микроорганизмов пресных водоемов. Лабораторное руководство. Л.: Наука, 1974. 194 с.
- 10 Нетрусов А. И. Практикум по микробиологии. М.: Академия, 2005. С. 105–111.
- 11 Manual of Methods for General Bacteriology / Gerhardt Ph. (Ed). Washington, D. C.: American Society for Microbiology, 1981. 524 p.
- 12 Анализ микрофлоры воды и воздуха: Методические указания к выполнению лабораторной работы по дисциплинам “Микробиология”, “Фармакология, биохимия, микробиология” и “Биотехнология” для студентов ИПР, ИФВТ дневной формы обучения / сост. А. П. Асташкина. Томск: Изд-во ТПУ, 2015. 25 с.
- 13 Рождественский Е. А., Филатов Д. А., Кувшинов В. А. Определение ионного состава пластовых вод методом капиллярного электрофореза // Приволжский научный вестник. 2012. № 5 (9). С. 3–7.
- 14 Семенова Е. М., Ершов А. П., Соколова Д. Ш., Турова Т. П., Назина Т. Н. Разнообразие и биотехнологический потенциал нитратредуцирующих бактерий из месторождений тяжелой нефти (Россия) // Микробиология. 2020. Т. 89, № 6. С. 675–687.