



БАШКИРСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ



ВНКСФ-25

Численное моделирование неизотермической фильтрации водогазовой смеси в поровых каналах

Фахреева Р.Р

Научный руководитель: к.ф.-м.н. Питюк Ю.А.

Симферополь-2019

Актуальность и цели работы

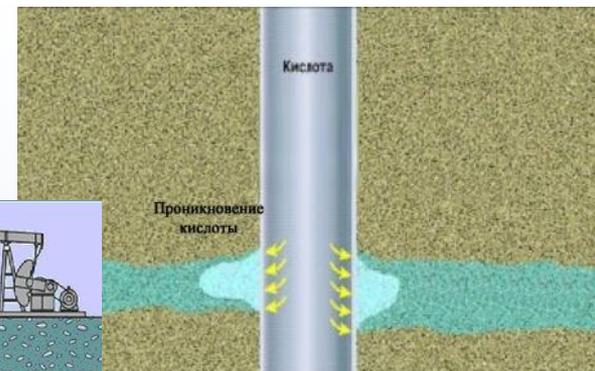
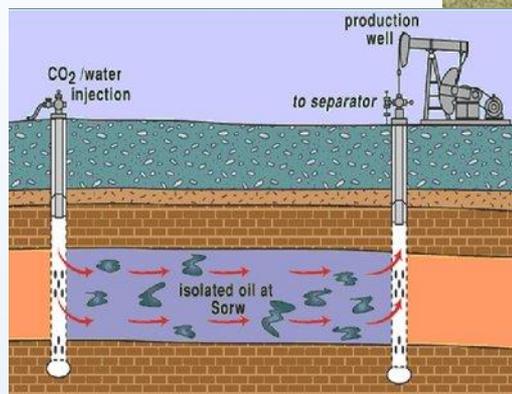
Проблема трудноизвлекаемых запасов нефти и газа



Внедрение эффективных способов оптимизации процесса разработки



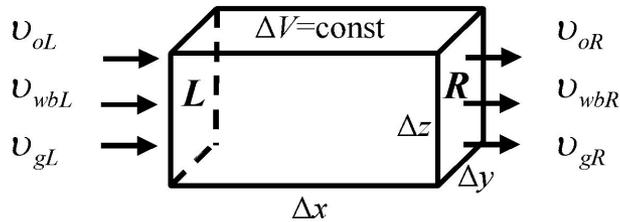
Увеличение количества извлекаемых запасов



Цель работы: численное исследование неизотермической фильтрации водогазовой смеси (ВГС) в нефтеносных коллекторах в одномерной постановке

- Задачи работы:
- ❖ Расчет и анализ распространения фронта вытеснения нефти в пористом пласте водогазовой смесью
 - ❖ Многопараметрический анализ распространения фронта вытеснения нефти водогазовой смесью с переходом пузырьков в свободную газовую фазу и без перехода

Математическая модель



Нижними индексами *o*, *w*, *b*, *g* обозначены соответственно нефть, вода, пузырьки газа, газ

$$\phi = \frac{\Delta V_0}{\Delta V}, \quad (c\rho)_i \frac{\partial T}{\partial t} + (c\rho)_f v_f \frac{\partial T}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_i \frac{\partial T}{\partial x} \right) \leftarrow \text{уравнение теплопроводности}$$

уравнения сохранения массы флюида с учетом закона Дарси

$$\frac{\partial}{\partial t} (\phi S_o \rho_o) - \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{kk_{ro} \rho_o}{\mu_o} \frac{\partial P}{\partial x} \right] = 0,$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\phi S_w \rho_w) - \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{(1 - R_b) kk_{rw} \rho_w}{\mu_{wb}} \frac{\partial P}{\partial x} \right] = 0,$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\phi S_b \rho_b) - \frac{\partial}{\partial x} \left[R_b \frac{kk_{rw} \rho_b}{\mu_{wb}} \frac{\partial P}{\partial x} \right] = -q_g,$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\phi S_g \rho_g) - \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{kk_{rg} \rho_g}{\mu_g} \frac{\partial P}{\partial x} \right] = q_g,$$

$$k = k_0 \left(1 + \frac{4b}{r_m} \right)$$

уравнение эффективной проницаемости

$$\rho_o = \frac{\rho_{ost}}{B_o(p, T)}, \quad \rho_w = \frac{\rho_{wst}}{B_w(p, T)},$$

$$\rho_g = \rho_b = \frac{PM}{RT}$$

плотности флюида в пластовых условиях

скорость фильтрации ВГС

$$v_{wb} = - \frac{kk_{rw}}{\mu_{wb}} \frac{\partial P}{\partial x} = v_w + v_b$$

Начальные условия:

$$S_i(x, 0) = S_{i0}$$

$$p(x, 0) = p_0$$

$$T(x, 0) = T_0$$

$$S_i(0, t) = S_i^{in}$$

$$P(0, t) = P^{in}$$

$$T(0, t) = T^{in}$$

$$\left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=L, t} = 0 \quad \left. \frac{\partial S_i}{\partial x} \right|_{x=L, t} = 0$$

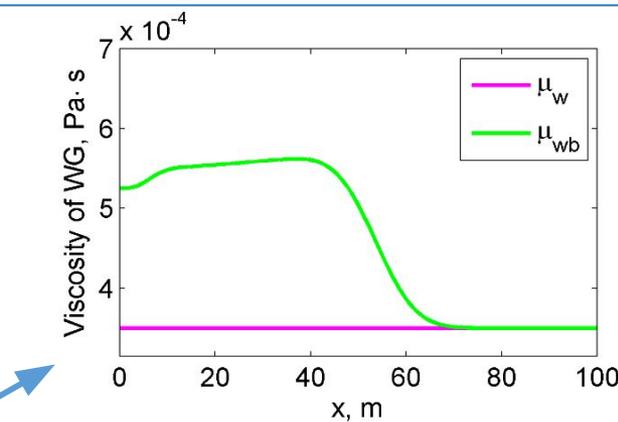
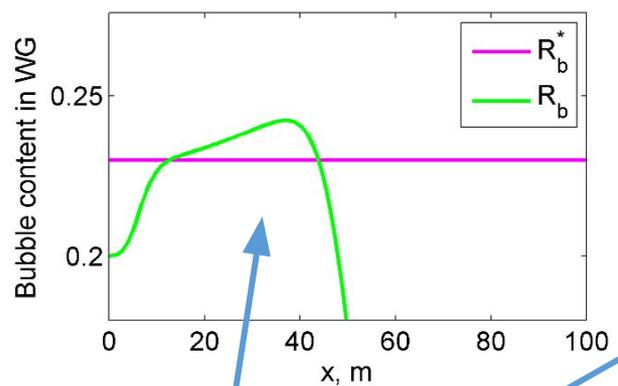
$$P(L, t) = P^{out}$$

Данные для расчетов.

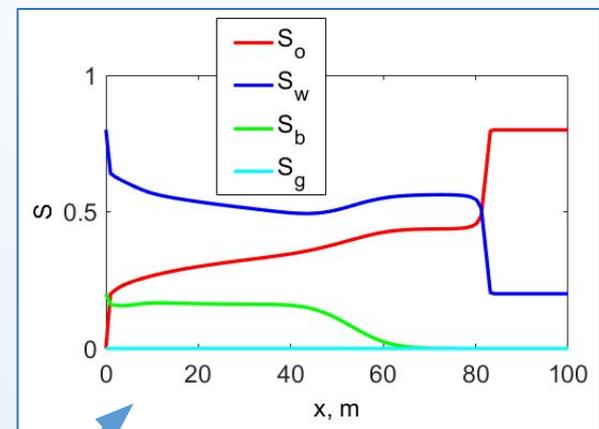
№	Обозначение	Назначение	Единица измерения	Характерное значение	№	Обозначение	Назначение	Единица измерения	Характерное значение
1	L	Длина модели	м	100	11	T_0	Начальная пластовая температура	$^{\circ}C$	70
2	ϕ	Пористость		0.18	12	T^{out}	Температура на выходе	$^{\circ}C$	70
3	k	Абсолютная проницаемость	m^2	50×10^{-12}	13	P^n	Давление нагнетания	Па	300×10^5
4	$\rho_s, \rho_o, \rho_w, \rho_g$	Плотность скелета, нефти, воды, газа	$кг/м^3$	2000; 860; 1000; 1.2	14	P_0	Начальное пластовое давление	Па	200×10^5
5	c_s, c_o, c_w, c_g	Удельная теплоемкость скелета, нефти, воды, газа	$Дж/(кг \cdot K)$	766; 2000; 4100; 1000	15	P^{out}	Давление на выходе	Па	200×10^5
6	$\lambda_s, \lambda_o, \lambda_w, \lambda_g$	Теплопроводность скелета, нефти, воды, газа	$Вт/(м \cdot K)$	0.95; 0.12; 0.70; 0.026	16	S_{or}^*	Остаточная нефтенасыщенность		0.15
7	α_o, α_w	Коэффициент сжимаемости нефти, воды	1/Па	10^{-9} ; 0.5×10^{-9}	17	S_{wr}^*	Остаточная водонасыщенность		0.15
8	β_o, β_w	Коэффициент теплового расширения нефти, воды	1/К	8×10^{-5} ; 4×10^{-5}	18	S_{gr}^*	Остаточная газонасыщенность		0.1
9	μ_o, μ_w, μ_g	Динамическая вязкость нефти, воды, газа	Па·с	2.1×10^{-3} ; 3.5×10^{-4} ; 1.8×10^{-5}	19	S_{o0}	Начальная нефтенасыщенность		0.8
10	T^n	Температура нагнетания	$^{\circ}C$	20	20	S_{w0}	Начальная водонасыщенность		0.2

Анализ вытеснения нефти ВГС без перехода пузырьков в свободную газовую фазу

Распределение содержания пузырьков в ВГС и вязкости ВГС



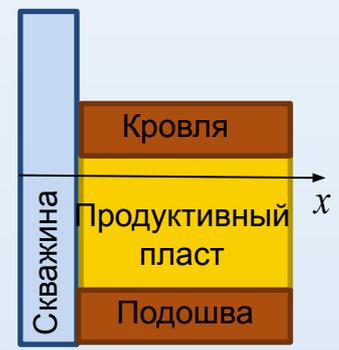
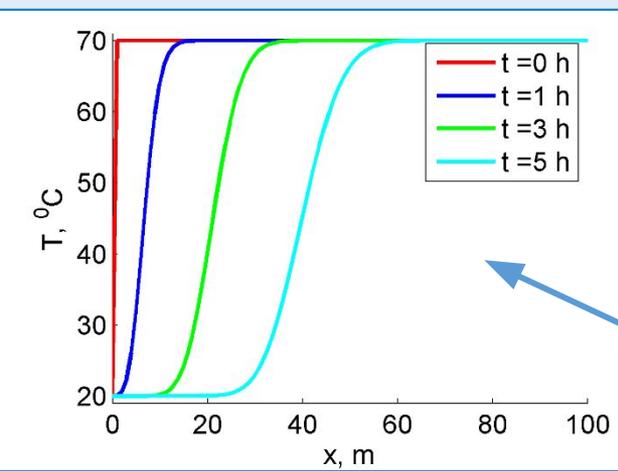
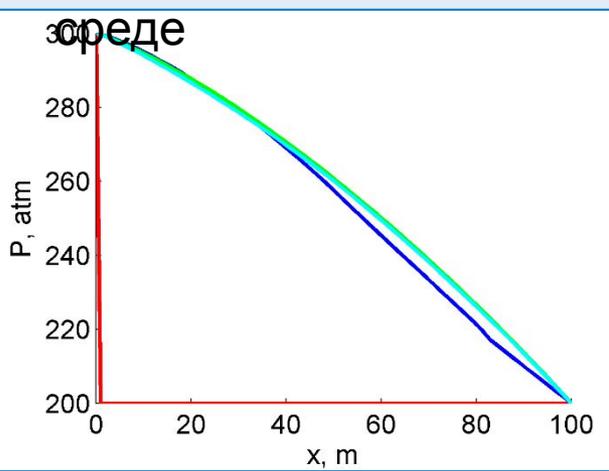
Распределение флюида



Объемное содержание пузырьков и вязкость ВГС увеличиваются

Происходит постепенное вытеснение нефтяной фазы ВГС

Динамика давления и температуры в пористой среде

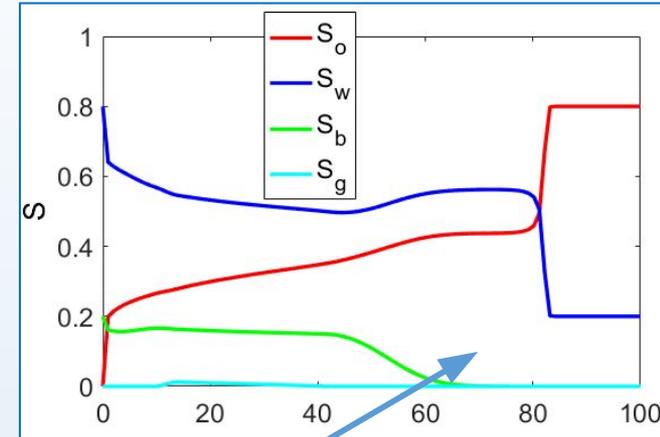
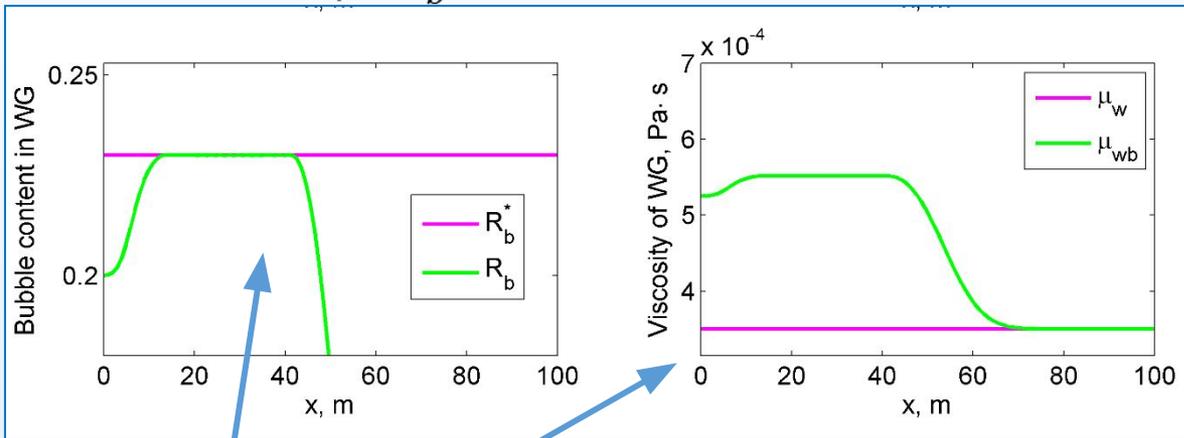


Давление выравнивается, холодная ВГС постепенно охлаждает пласт

Анализ вытеснения нефти ВГС с переходом пузырьков в свободную газовую фазу

Распределение содержания пузырьков в ВГС и вязкости ВГС при $R_b^* = 0.23$

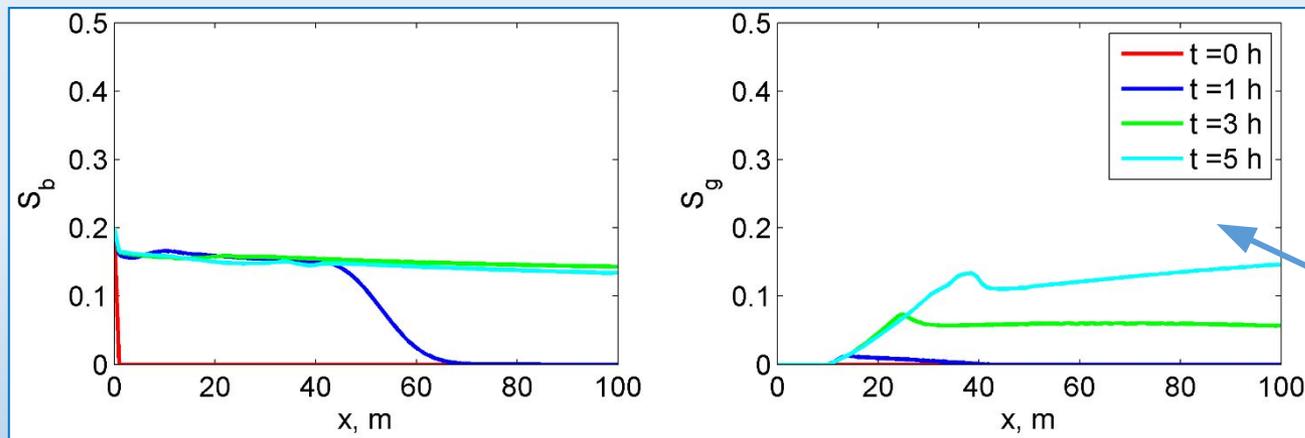
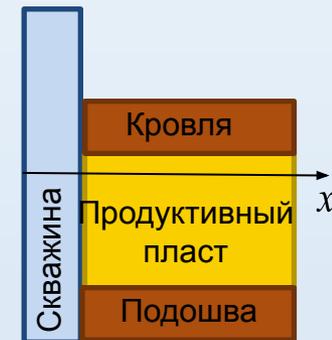
Распределение флюида



Объемное содержание пузырьков и вязкость ВГС увеличиваются только до

Происходит постепенное вытеснение нефтяной фазы ВГС и образование газовой

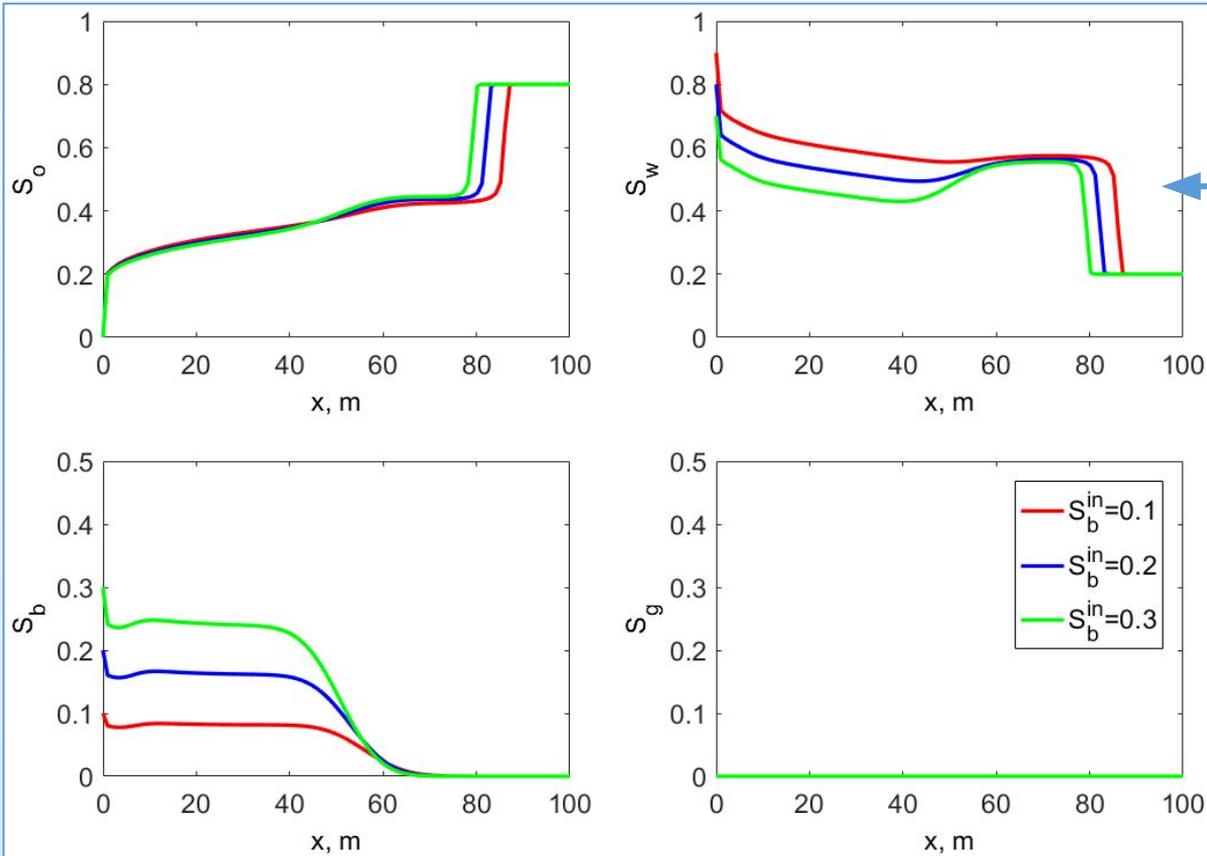
критического значения динамика насыщенностей пузырьков и свободного



Выделение свободного газа с течением времени

Многопараметрический анализ вытеснения нефти ВГС без перехода пузырьков в свободную газовую фазу

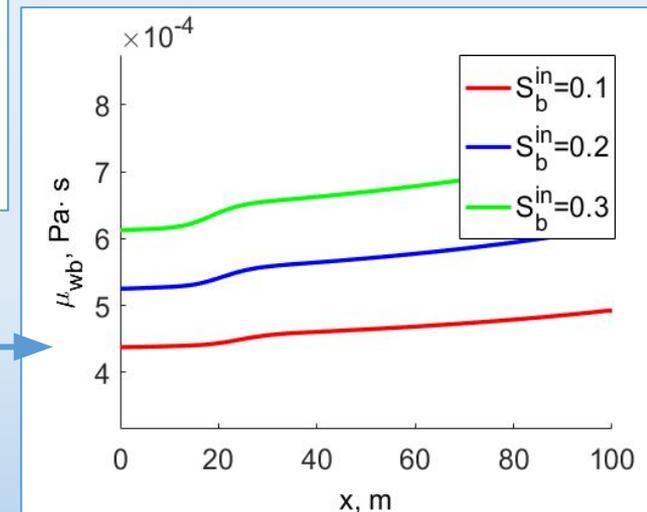
Распределение насыщенности флюида по пласту при различном S_b^{in}



При меньшей концентрации пузырьков фронт ВГС продвигается быстрее. Свободный газ отсутствует.

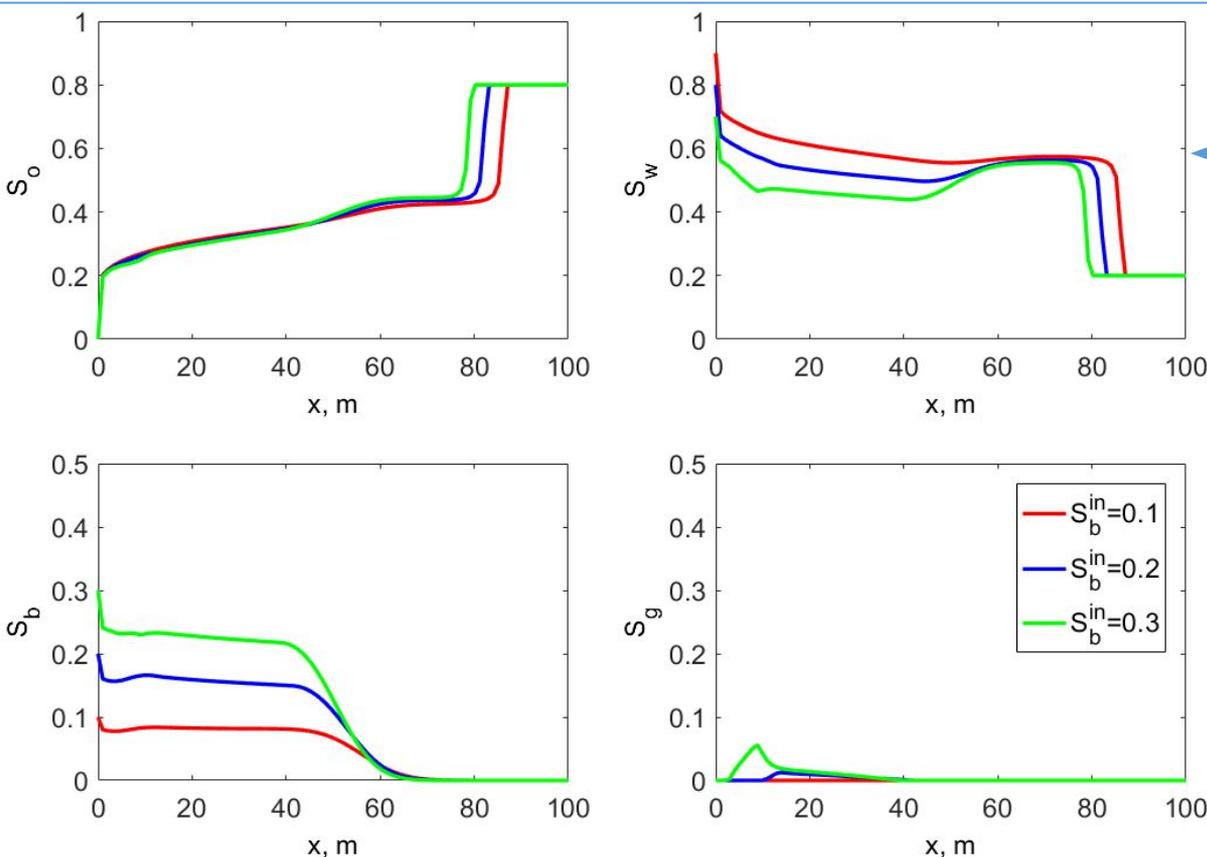
Изменение вязкости ВГС при различном S_b^{in}

Вязкость ВГС при большей концентрации пузырьков растет быстрее



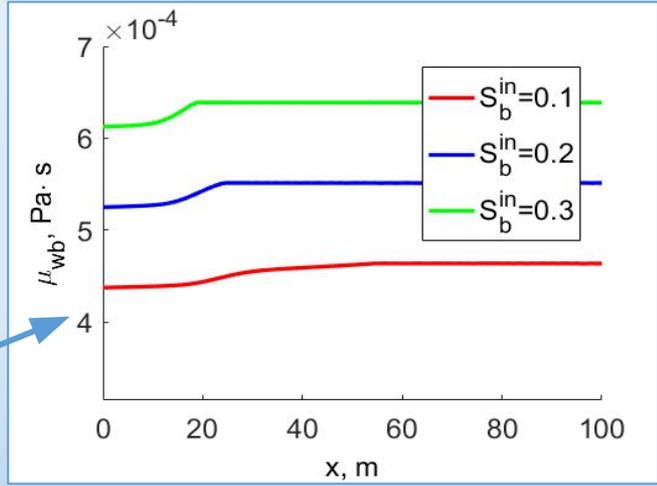
Многопараметрический анализ вытеснения нефти ВГС с переходом пузырьков в свободную газовую фазу

Распределение насыщенности флюида по пласту при различном S_b^{in}



При меньшей концентрации пузырьков фронт ВГС продвигается быстрее. Образование газовой фазы.

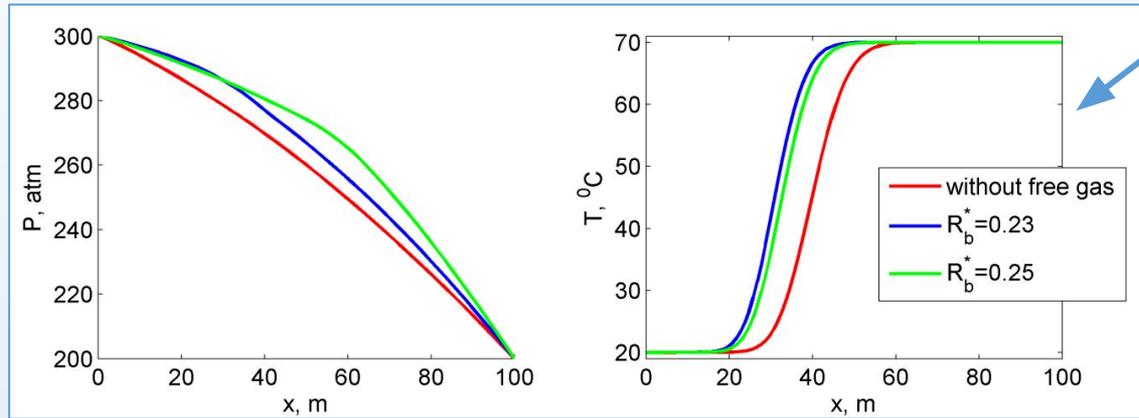
Изменение вязкости ВГС при различном S_b^{in}



Вязкость ВГС при достижении критического значения концентрации пузырьков не изменяется

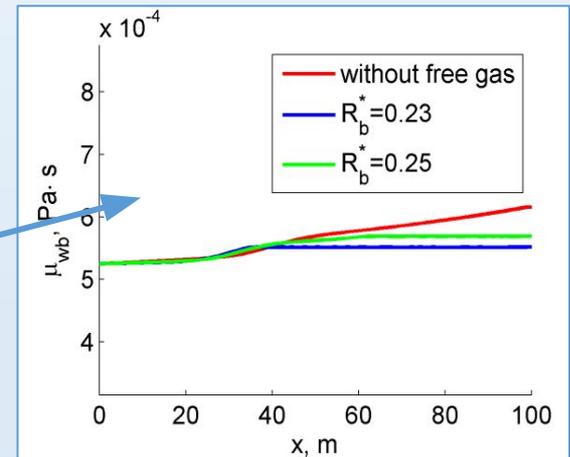
Многопараметрический анализ вытеснения нефти ВГС при различных критических значениях объемного содержания пузырьков в ВГС

Изменение давления и температуры в пласте при различных R_b^* , $S_b^{in}=0.2$, $t=5$ ч

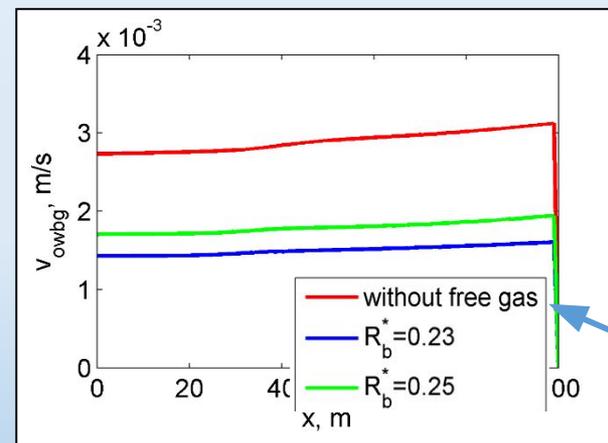


Без образования свободного газа холодный температурный фронт распространяется быстрее. Градиент давления наиболее близок к линейному закону

Изменение вязкости ВГС по пласту при различных R_b^* , $S_b^{in}=0.2$, $t=5$ ч



Изменение скорости фильтрации флюида по пласту при различных R_b^* , $S_b^{in}=0.2$, $t=5$ ч



Без образования свободного газа вязкость ВГС больше

Без образования свободного газа скорость фильтрации многофазной жидкости больше

Заключение

- ❖ Проведен расчет и анализ термогидродинамических процессов в пористой среде.
- ❖ Проведен многопараметрический анализ результатов численного моделирования. Вязкость ВГС увеличивается с увеличением объемного содержания пузырьков в ВГС, фронт вытеснения нефти при меньшей концентрации пузырьков в ВГС распространяется быстрее, образование свободного газа отрицательно влияет на эффективность вытеснения нефти.
- ❖ Таким образом, проведено исследование эффективности вытеснения нефти водогазовой смесью

Спасибо за внимание!