



Аналитическая модель расформирования нефтяной оторочки при разработке газовой шапки

ООО «Газпромнефть НТЦ»
Отдел научно-методологического сопровождения разработки
Самоловов Д.А.,
15.05.2018, г. Уфа



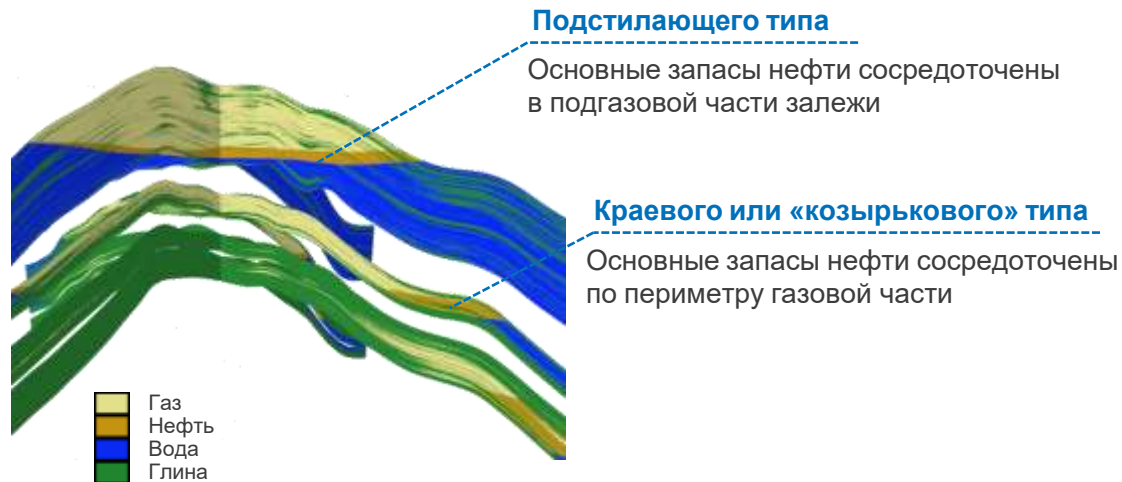
Содержание

1. Актуальность, цели и задачи работы
2. Оценка эффективности разработки нефтяных оторочек
3. Стратегии разработки нефтяных оторочек
4. Расформирование нефтяных оторочек при разработке газовой шапки
5. Постановка задачи
6. Решение задачи
7. Пример оценки
8. Заключение

Нефтяные оторочки

Нефтяная оторочка – нефтяная часть газонефтяной или газоконденсатной залежи, размеры и геологические запасы которой *меньше*** газовой (газоконденсатной) части двухфазной залежи

Классификация нефтяных оторочек



Потенциал разработки

Потенциал применения (по России*):

- 315 месторождений Российской Федерации
- 28,7 млрд. т геологических запасов нефти
- 7,0 млрд. т извлекаемых запасов нефти

* по данным ГеоКИН

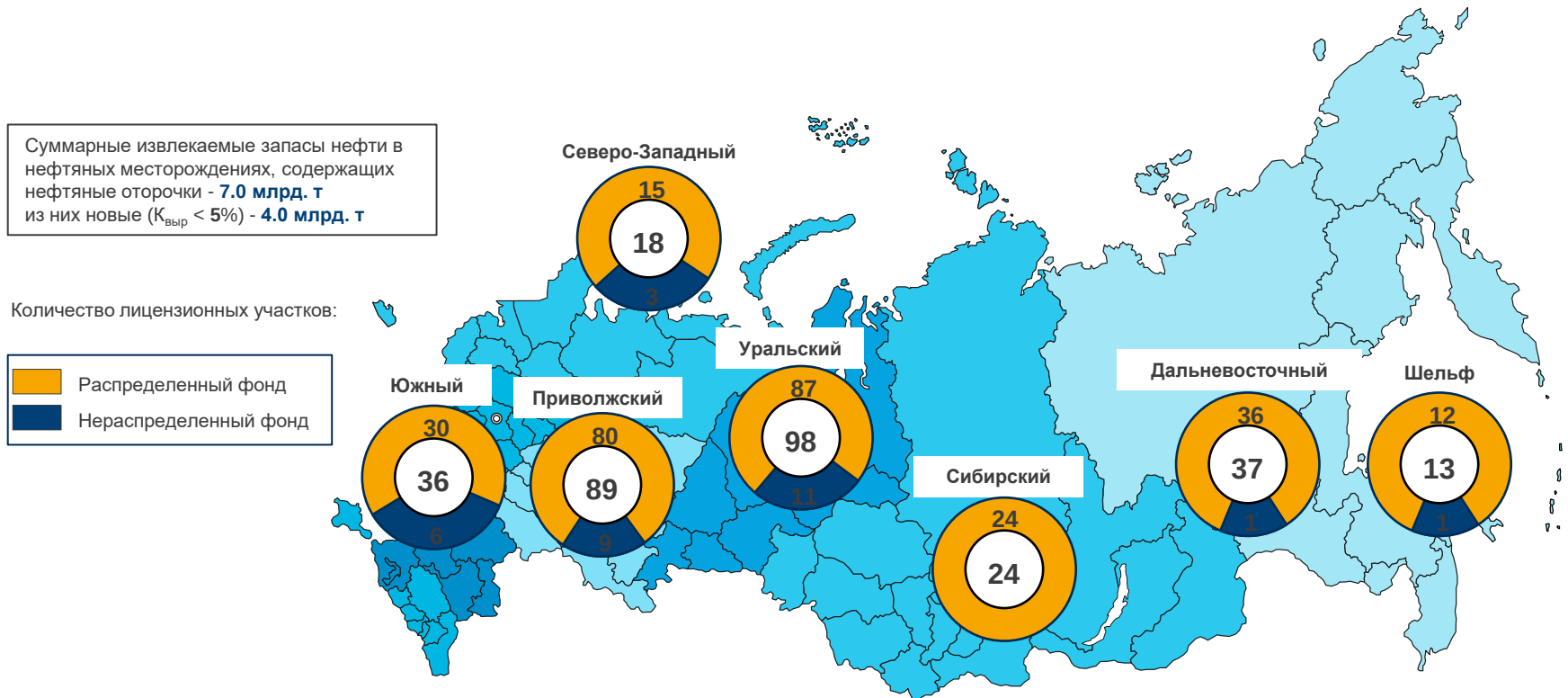
Основные сложности при разработке

- Нерентабельность большинства проектов разработки нефтяных оторочек
- Сложные и дорогие технологические решения
- Управление разработкой

** - качественная характеристика, **необходимы количественные критерии**

Ресурсная база нефтяных оторочек в России

Распределение лицензионных участков с подгазовыми нефтяными залежами по федеральным округам РФ

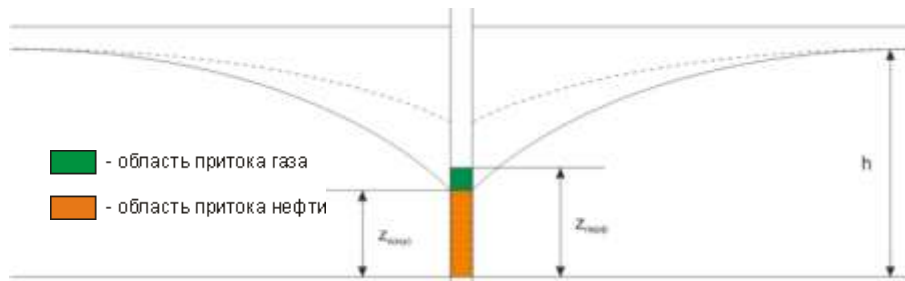


Цель работы – разработка методики оценки рентабельности разработки нефтяных оторочек

Задача работы – расчет влияния разработки газовой шапки на показатели разработки нефтяных оторочек

Причины низкой эффективности разработки нефтяных оторочек

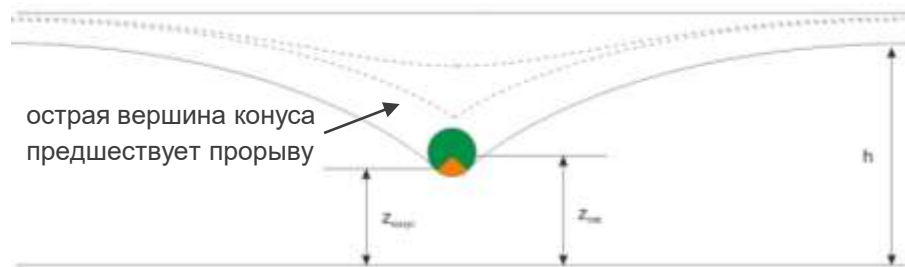
Прорыв газа



Подтягивание конуса газа к вертикальной скважине

Пример: Чаяндинское месторождение.

Падение дебита после прорыва в **1.3** раза

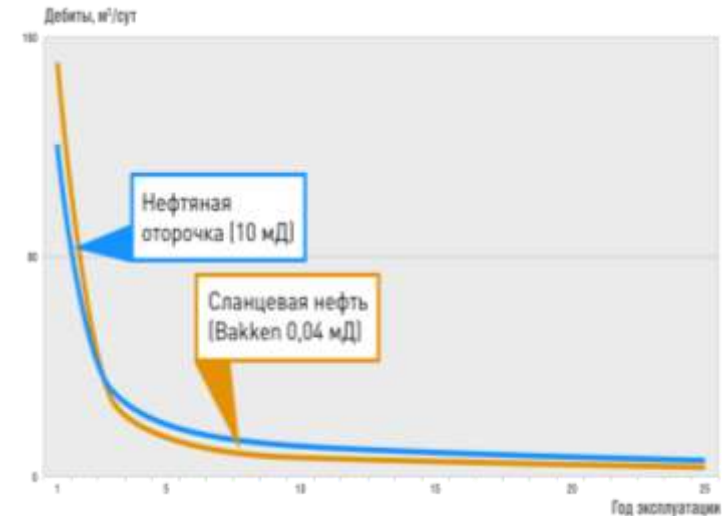


Подтягивание конуса газа к горизонтальной скважине

Пример: месторождение Troll

Падение дебита после прорыва в **6.3** раза

Сравнение динамики добычи с ТРИЗ

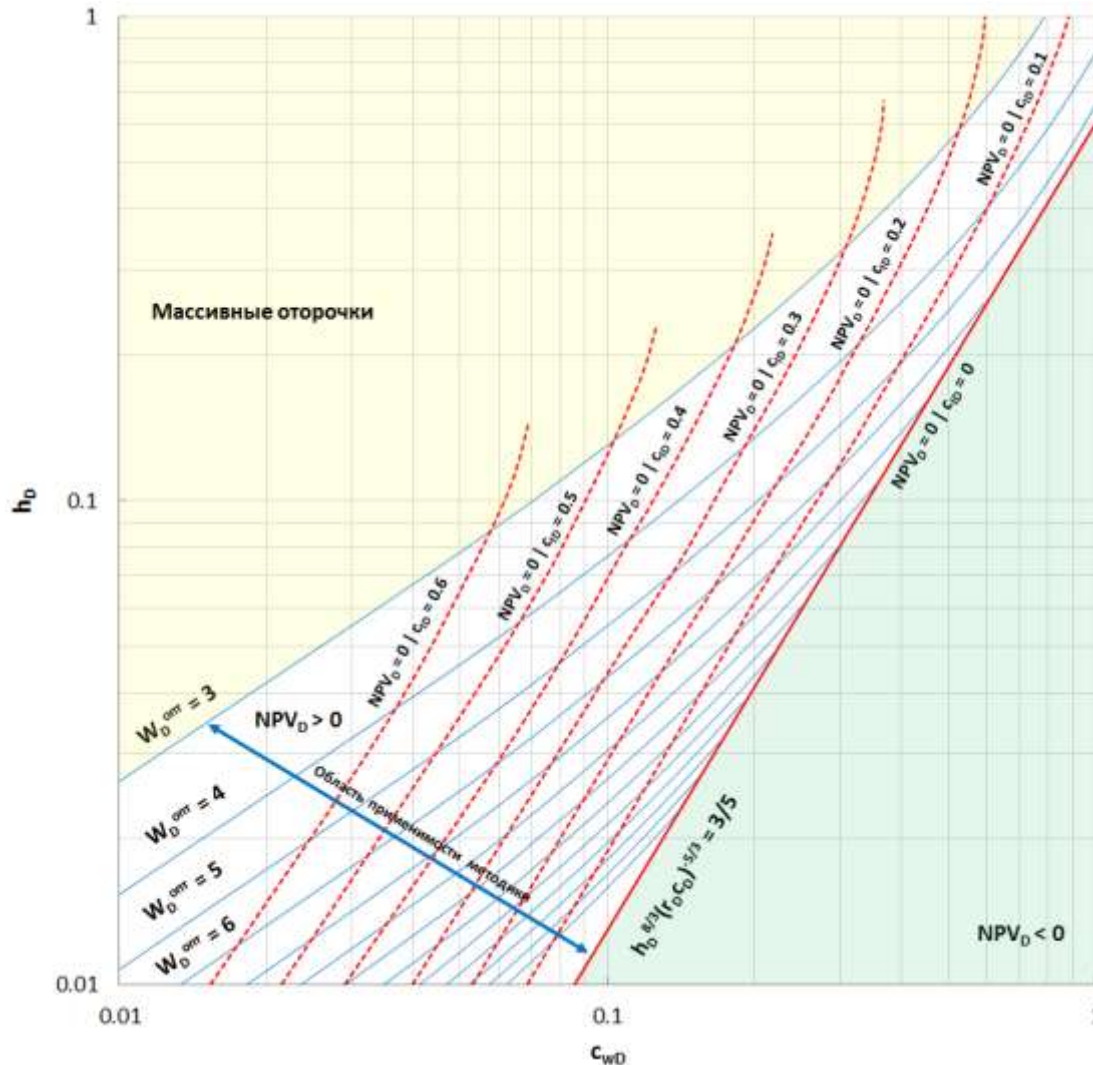


Bakken – общепризнанные ТРИЗ (проницаемость 0.04 мД)

Дополнительные причины

- Удаленность активов от существующей инфраструктуры
- Расформирование нефтяной оторочки при опережающей разработке газовой шапки
- Относительно низкая эффективность ППД

Оценка эффективности разработки нефтяных оторочек



Хасанов М.М., Урмаев О.С. и др. Метод определения оптимальных параметров системы разработки газонефтяных зон нефтяных оторочек, SPE 166898

Безразмерные переменные

$$h_D = h \frac{\mu_o \phi \Delta s_o}{k_z \Delta \rho g} r \quad c_{wD} = \frac{r \mu_o B_o \left(c_w + \frac{a_w}{r} \right)}{p_{nb} \sqrt{k_z k_r} \Delta \rho g h L} \quad c_{ID} = \frac{c_I + \frac{a_I}{r}}{p_{nb} N_p}$$

Критерий рентабельности

$$h_r = 0.826 \frac{k_z \Delta \rho g}{\mu_o r \phi \Delta s} \left(\frac{r^2 \mu^2 c_{wt} B_o \phi \Delta s}{p_{nb} k_z \sqrt{k_z k_r} (\Delta \rho g)^2 L} \right)^{\frac{5}{8}} e^{\frac{8}{5} c_{ID}}$$

h – нефтенасыщенная толщина, м

μ_o – вязкость нефти, Па·с

ϕ – пористость

Δs_o – разница между начальной и остаточной при вытеснении газом нефтенасыщенностью

k_z – вертикальная проницаемость, м²

$\Delta \rho$ – разность плотностей нефти и газа в пластовых условиях, кг/м³

g – ускорение свободного падения, м/с²

B_o – объемный коэффициент нефти

k_r – горизонтальная проницаемость, м²

L – длина горизонтальной скважины, м

r – коэффициент дисконтирования, 1/с

p_{nb} – net-back цена нефти, руб./м³

c_w – стоимость строительства скважины и локальных объектов обустройства, руб.

a_w – стоимость обслуживания скважины, руб./с

c_I – стоимость строительства инфраструктуры внешнего транспорта, руб.

a_I – стоимость обслуживания инфраструктуры внешнего транспорта, руб./с

N_p – подвижные запасы нефти на месторождении, м³

Стратегии разработки нефтяных оторочек

Разработка газовой шапки

- Нерентабельная разработка нефтяной оторочки

Разработка нефтяной оторочки

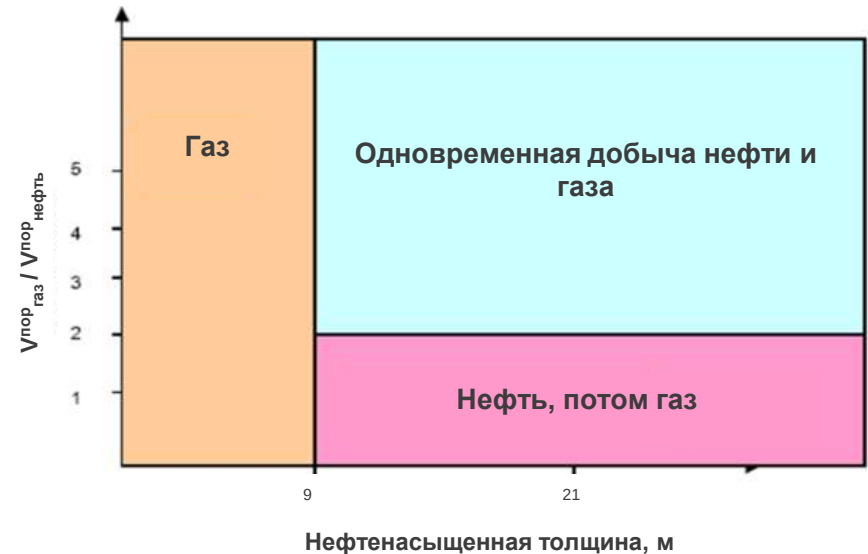
- Сильное негативное влияние разработки газовой шапки на нефтяную оторочку
- Большая плотность запасов нефти при низкой величине запасов газа

Разработка нефтяной оторочки и газовой шапки

- Большая величина запасов газа
- Высокая плотность запасов нефти и продуктивность нефтяных скважин

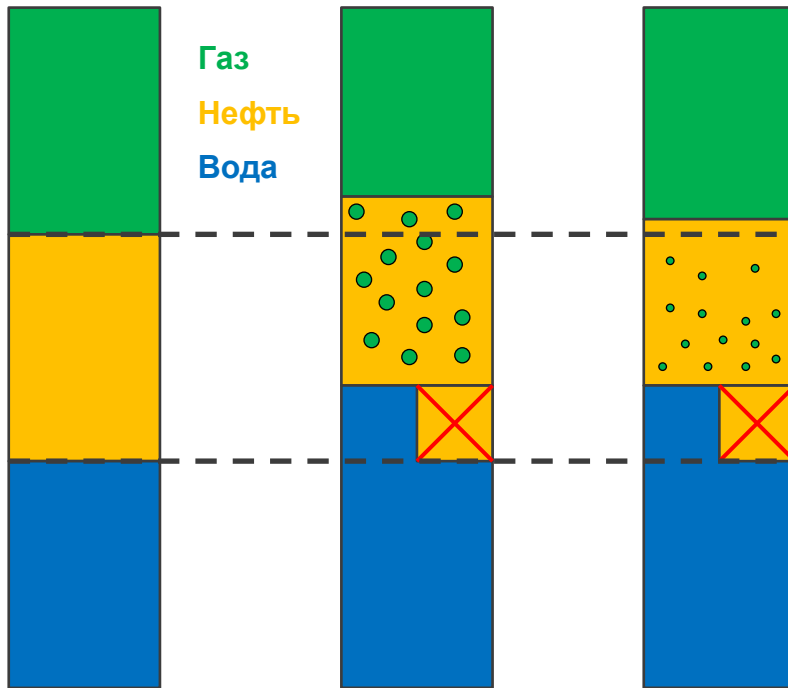
Разработка нефтяной оторочки, возврат газа в ГШ

- Низкая энергетика газовой шапки
- Высокая плотность запасов нефти и продуктивность нефтяных скважин



* по материалам работы «First-Pass Screening of Reservoirs with Large Gas Caps for Oil Rim Development», O. Olamigoke, A. Peacock, SPE 128603

Расформирование нефтяных оторочек при разработке газовой шапки



Объем воды, вторгшейся в нефтяную оторочку

$$\Delta V_{\text{в}} = V_{\text{в}} \beta_{\text{в}} (p_{\text{нач}} - p_{\text{кон}})$$

$p_{\text{нач}}$ – начальное пластовое давление

$p_{\text{кон}}$ – пластовое давление после отбора газа

$V_{\text{в}}$ – объем воды

$\beta_{\text{в}}$ – сжимаемость воды, $4.7 \cdot 10^{-5}$ 1/бар

Негативное влияние

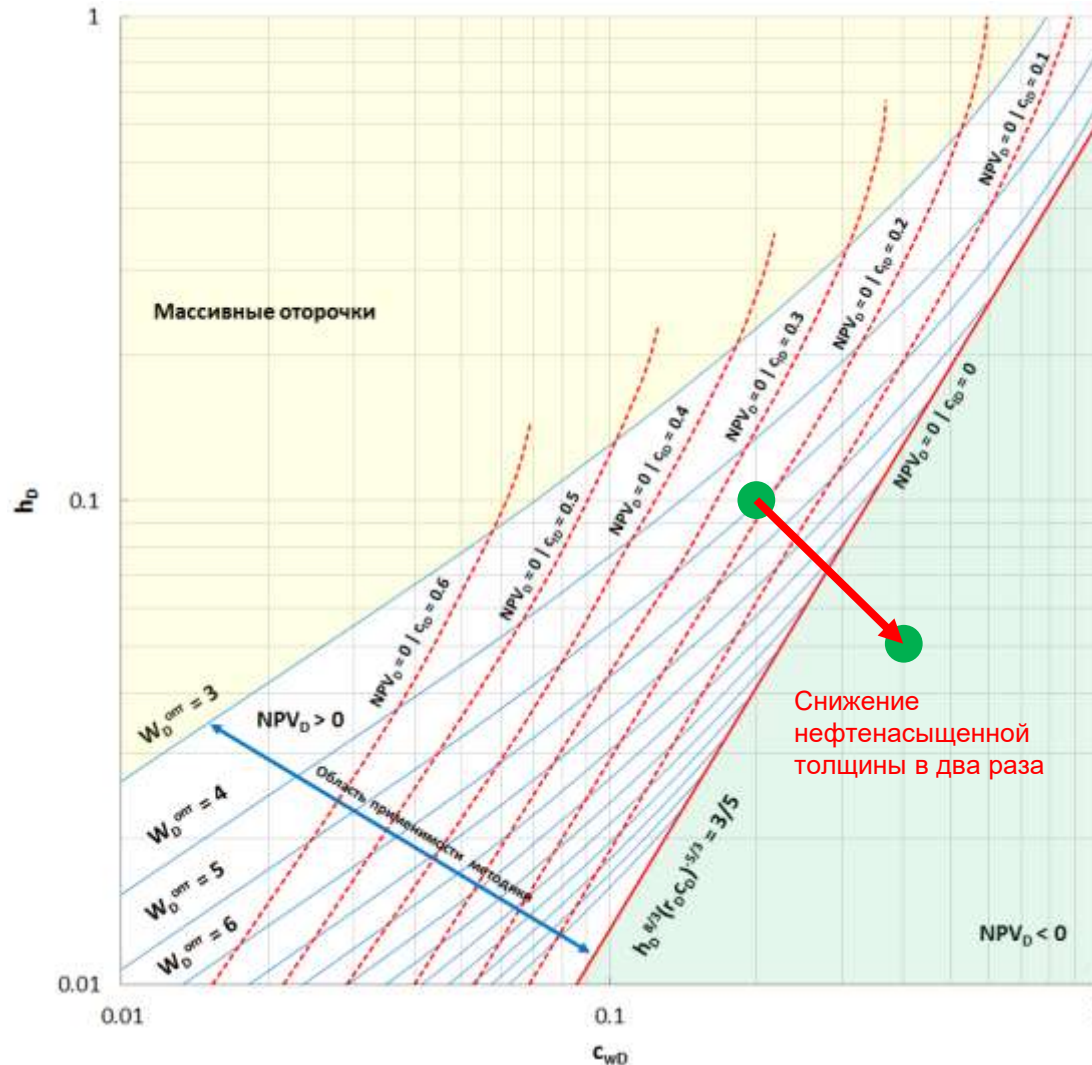
- Снижение нефтенасыщенных толщин / нефтенасыщенности
- Увеличение вязкости нефти
- Снижение ОФП нефти

Потери подвижных запасов нефти $\sim \Delta V_{\text{в}}$

$\Delta V_{\text{в}}$ $\sim$ активности водоносной области, выработке газовой шапки

По аналогии с газовыми месторождениями, наличие мощного водоносного горизонта для нефтяных оторочек – скорее проблема, чем преимущество

Расформирование нефтяных оторочек и оценка эффективности



$$h_D = h \frac{\mu_o \phi \Delta s_o}{k_z \Delta \rho g} r$$

$$c_{wD} = \frac{r \mu_o B_o \left(c_w + \frac{a_w}{r} \right)}{p_{nb} \sqrt{k_z k_r \Delta \rho g h L}}$$

h – нефтенасыщенная толщина, м

μ_o – вязкость нефти, Па·с

ϕ – пористость

Δs_o – разница между начальной и остаточной при вытеснении газом нефтенасыщенностью

k_z – вертикальная проницаемость, м²

$\Delta \rho$ – разность плотностей нефти и газа в пластовых условиях, кг/м³

g – ускорение свободного падения, м/с²

B_o – объемный коэффициент нефти

k_r – горизонтальная проницаемость, м²

L – длина горизонтальной скважины, м

r – коэффициент дисконтирования, 1/с

p_{nb} – net-back цена нефти, руб./м³

c_w – стоимость строительства скважины и локальных объектов обустройства, руб.

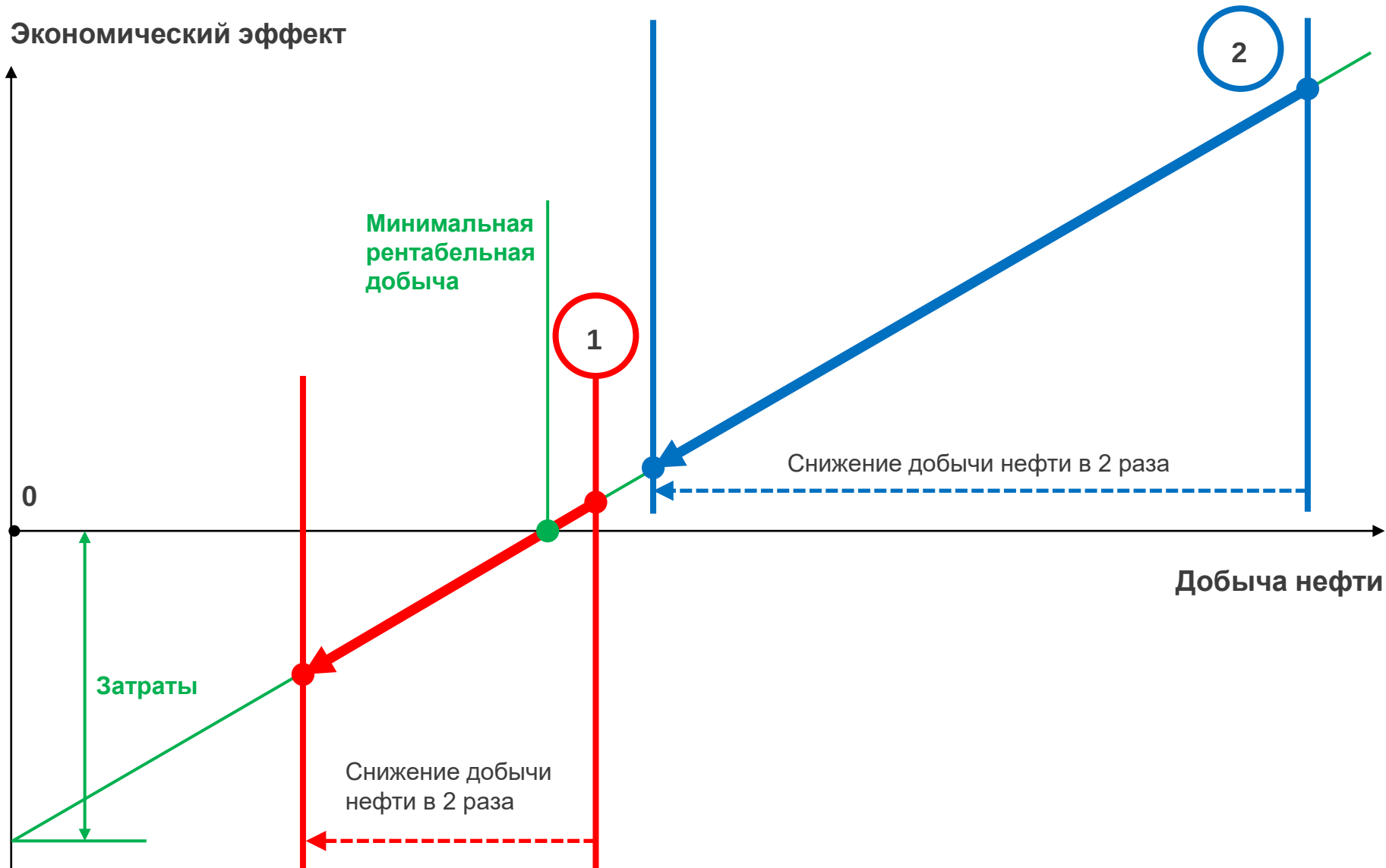
a_w – стоимость обслуживания скважины, руб./с

c_i – стоимость строительства инфраструктуры внешнего транспорта, руб.

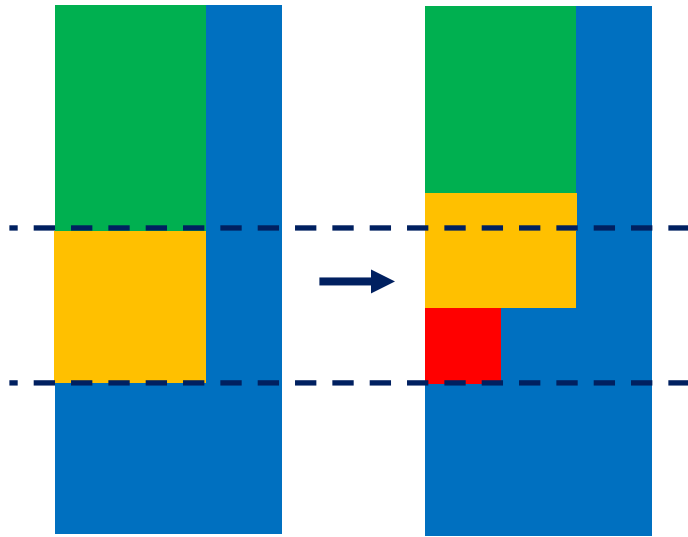
a_i – стоимость обслуживания инфраструктуры внешнего транспорта, руб./с

N_p – подвижные запасы нефти на месторождении, м³

Расформирование нефтяных оторочек и оценка эффективности



Постановка задачи



Допущения

- Нефтяная оторочка подстилающего типа
- Идеальный газ
- Критическая газонасыщенность равна нулю
- Растворенный в нефти газ при снижении давления и насыщения до подвижного состояния переходит в газовую шапку
- Предельное насыщение нефтяной оторочки



- нефть

- неподвижная нефть



- газ

- вода

$$\Delta V_H = \Delta V_B \frac{(1 - K_{\text{выт}}) B_H(p_{\text{атм}})}{K_{\text{выт}} B_H(p)}$$

$$V_B(p) = V_B(p_{\text{пл}})(1 + \beta_B(p_{\text{пл}} - p))$$

$$V_H(p) = V_H(p_{\text{пл}}) \frac{B_H(p)}{B_H(p_{\text{пл}})}$$

$$V_G(p) = V_G \frac{p_{\text{атм}}}{p} + V_H(p_{\text{пл}}) \frac{B_H(p_{\text{атм}})}{B_H(p_{\text{пл}})} \frac{p_{\text{атм}}}{p} (R_s(p_{\text{пл}}) - R_s(p))$$

$K_{\text{выт}}$ – коэффициент вытеснения нефти водой

$p_{\text{пл}}$ – начальное пластовое давление

p – текущее пластовое давление

V_H – объем нефти

ΔV_H – объемные потери подвижных запасов нефти в атмосферных условиях

V_G – начальные объемные запасы газа в атмосферных условиях

V_B – начальный объем воды при пластовых условиях

ΔV_H – объем воды, внедрившейся в нефтяную оторочку при пластовых условиях

β_B – сжимаемость воды

$p_{\text{атм}}$ – атмосферное давление

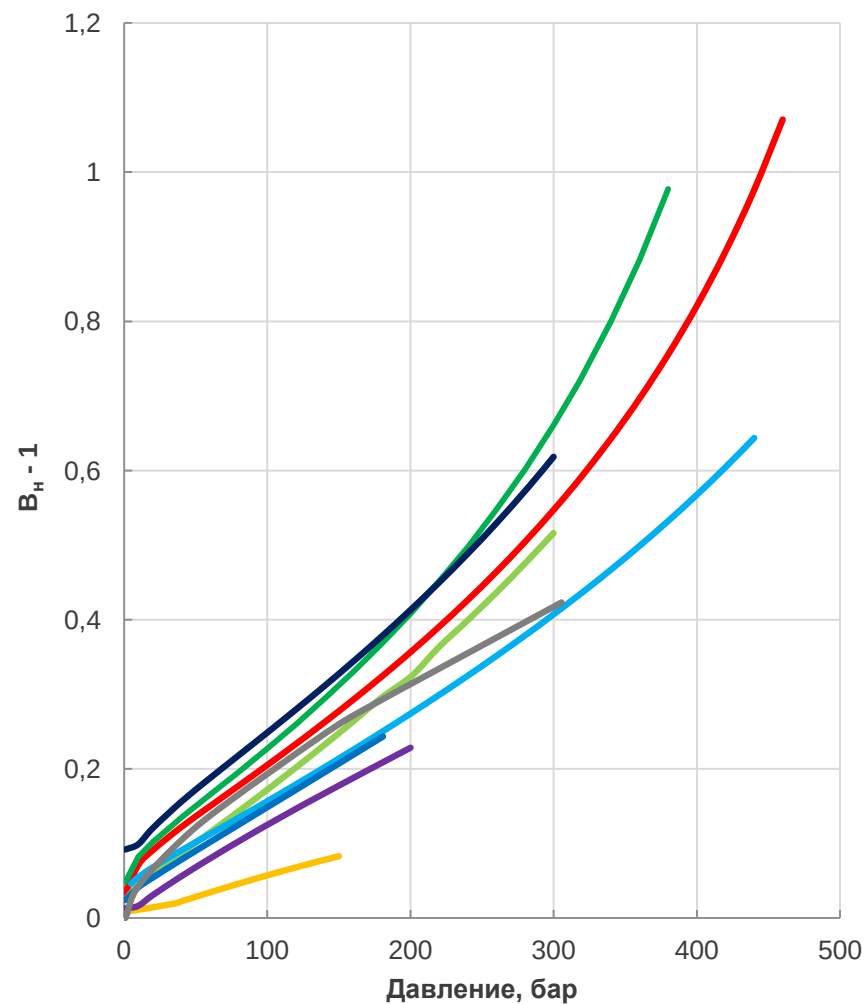
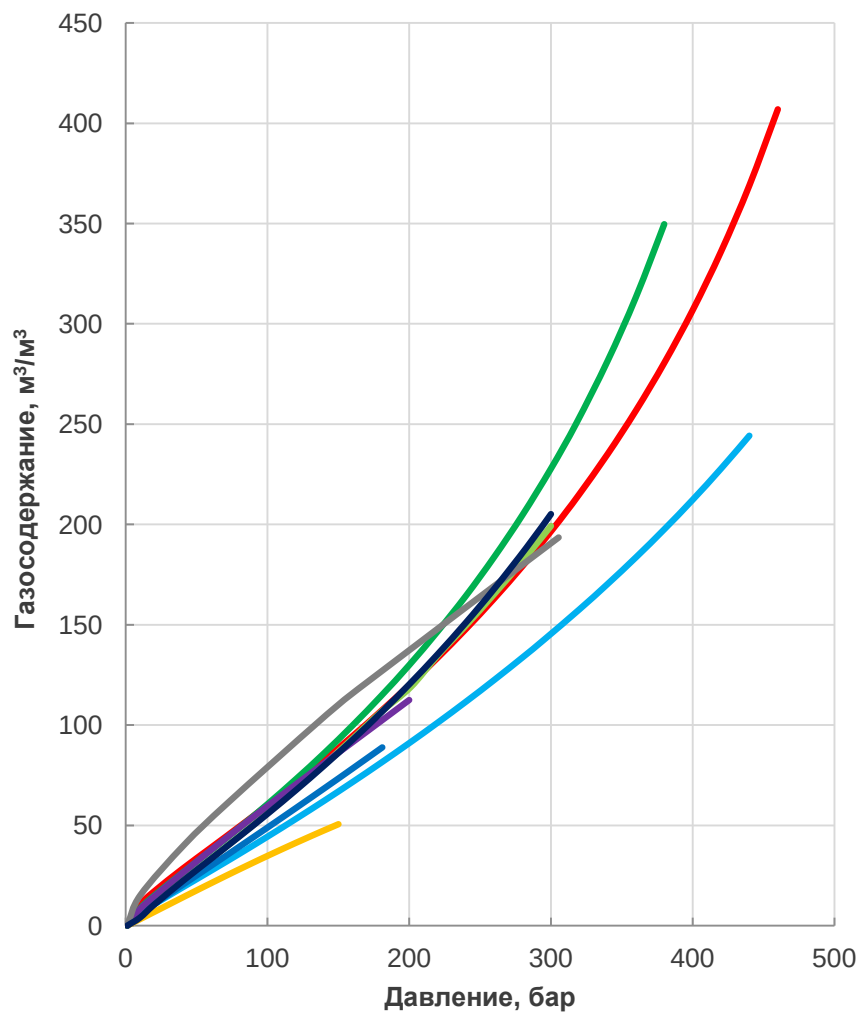
Q_G – объемная добыча газа при атмосферных условиях

B_H – объемный коэффициент нефти

R_s – газосодержание нефти

Задача: определить $\Delta V_H(Q_G)$

Подход к учету PVT-свойств



Яро-Яхинское

Восточно-Мессояхское

Новый Порт Ю26

Заполярье

Новый Порт НП4

Самбургское

Чаяндинское

Чонский проект

Южно-Кириное

Подход к учету PVT-свойств

Зависимость газосодержания нефти от давления

$$R_s(p) = \beta p$$

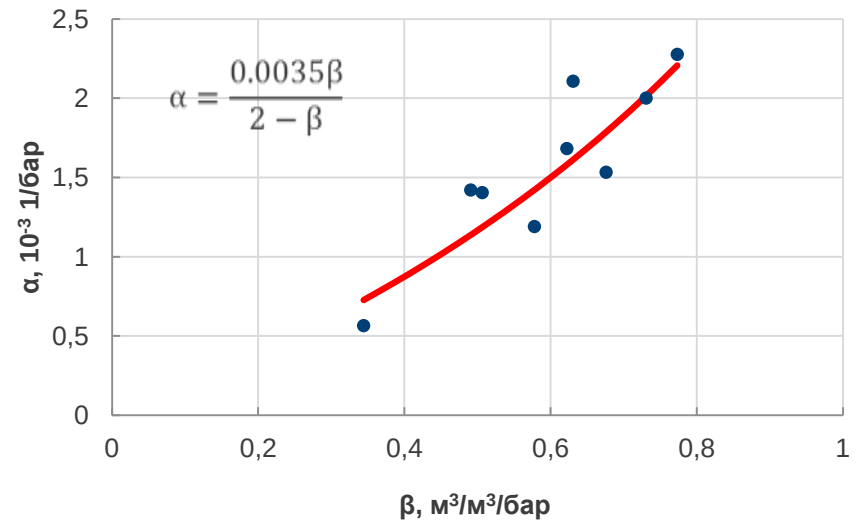
Зависимость объемного коэффициента нефти от давления

$$B_n(p) = 1 + \alpha p$$

Типовые значения α и β

$\alpha, 10^{-3}$	0.5	2
β	0.2	0.8

Настройка однопараметрической модели на фактические данные лабораторных экспериментов



Охватываемый диапазон глубин 750...3800 м

Упрощенная однопараметрическая PVT-модель, используемая при расчетах

$$R_s(p) = \beta p \quad B_n(p) = 1 + \frac{0.0035\beta}{2 - \beta} p$$

Решение задачи в общем виде

Материальный баланс

$$V_H(p_{пл}) + V_B(p_{пл}) + V_G \frac{p_{атм}}{p_{пл}} = V_B(p) + V_H(p_{пл}) \frac{B_H(p)}{B_H(p_{пл})} + \left((V_G - Q_G) + \frac{V_H(p_{пл})}{B_H(p_{пл})} (R_S(p_{пл}) - R_S(p)) \right) \frac{p_{атм}}{p}$$

С учетом упрощенной PVT-модели

$$V_H(p_{пл}) + V_G \frac{p_{атм}}{p_{пл}} = V_B \beta_B (p_{пл} - p) + V_H(p_{пл}) \frac{(1 + \alpha p)}{B_H(p_{пл})} + \left((V_G - Q_G) + \frac{V_H(p_{пл})}{B_H(p_{пл})} \beta (p_{пл} - p) \right) \frac{p_{атм}}{p}$$

$$p(Q_G) = \frac{p_{пл}(1 - \beta_{од}(1 + K) - F_{gd})}{2(1 - \beta_{од})} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4(1 - \beta_{од})(F_{gd}(1 - R) + K\beta_{од})}{(1 - \beta_{од}(1 + K) - F_{gd})^2}} \right)$$

Потери подвижных запасов нефти

$$\frac{\Delta V_H}{V_H}(Q_G) = \frac{V_B \beta_B p_{пл}}{V_H(p_{пл})} \left(1 - \frac{p(Q_G)}{p_{пл}} \right) \frac{(1 - K_{выт}) B_H(p_{пл})}{K_{выт} B_H(p)}$$

Количественная характеристика активности водоносного горизонта, газовой шапки

Безразмерные переменные

$$F_{dw} = \frac{V_B \beta_B p_{пл}}{V_H(p_{пл})} \text{ - активность водоносного горизонта}$$

$$F_{dg} = \frac{V_G p_{атм}}{p_{пл}^2 V_B \beta_B} \text{ - активность газовой шапки}$$

$$R = \frac{Q_G}{V_G} \text{ - коэффициент извлечения газа}$$

$$\beta_{од} = \frac{\alpha V_H(p_{пл})}{B_H(p_{пл}) V_B \beta_B} \text{ - сжимаемость нефти}$$

$$K = \frac{\beta p_{атм}}{\alpha p_{пл}} \text{ - захват газа}$$

Частный случай: нефть с постоянным объемом

$$R_s(p) = \beta p \quad B_H(p) = 1 + \alpha p \quad \alpha = 0 \quad \beta = 0$$

$$p(Q_\Gamma) = \frac{p_{\text{пл}}}{2} \left(1 - \frac{V_\Gamma p_{\text{атм}}}{p_{\text{пл}}^2 V_B \beta_B} \right) \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4V_\Gamma p_{\text{атм}} \left(1 - \frac{Q_\Gamma}{V_\Gamma} \right)}{p_{\text{пл}}^2 V_B \beta_B \left(1 - \frac{V_\Gamma p_{\text{атм}}}{p_{\text{пл}}^2 V_B \beta_B} \right)^2}} \right)$$

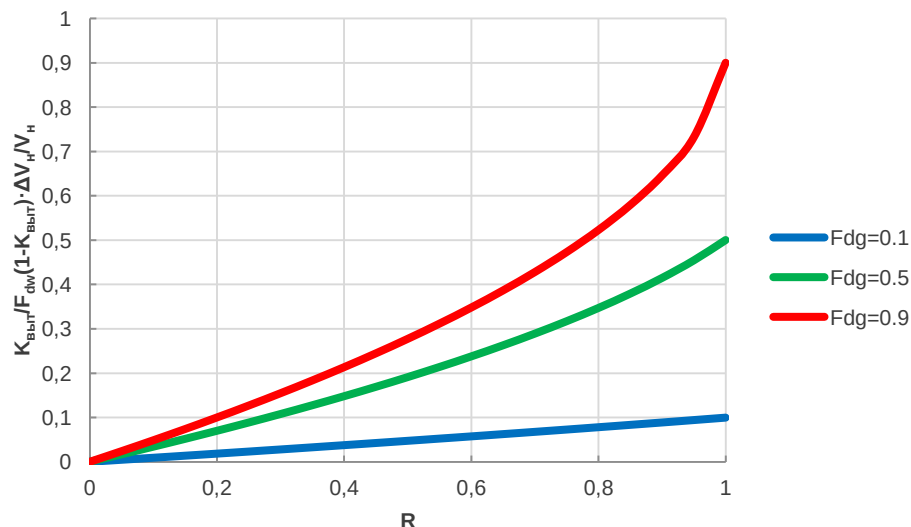
$$\frac{\Delta V_H}{V_H}(Q_\Gamma) = \frac{V_B \beta_B p_{\text{пл}}}{V_H} \left(1 - \frac{p(Q_\Gamma)}{p_{\text{пл}}} \right) \frac{(1 - K_{\text{выт}})}{K_{\text{выт}}}$$

Безразмерные переменные

$$F_{\text{dw}} = \frac{V_B \beta_B p_{\text{пл}}}{V_H} - \text{активность водоносного горизонта}$$

$$F_{\text{dg}} = \frac{V_\Gamma p_{\text{атм}}}{p_{\text{пл}}^2 V_B \beta_B} - \text{активность газовой шапки}$$

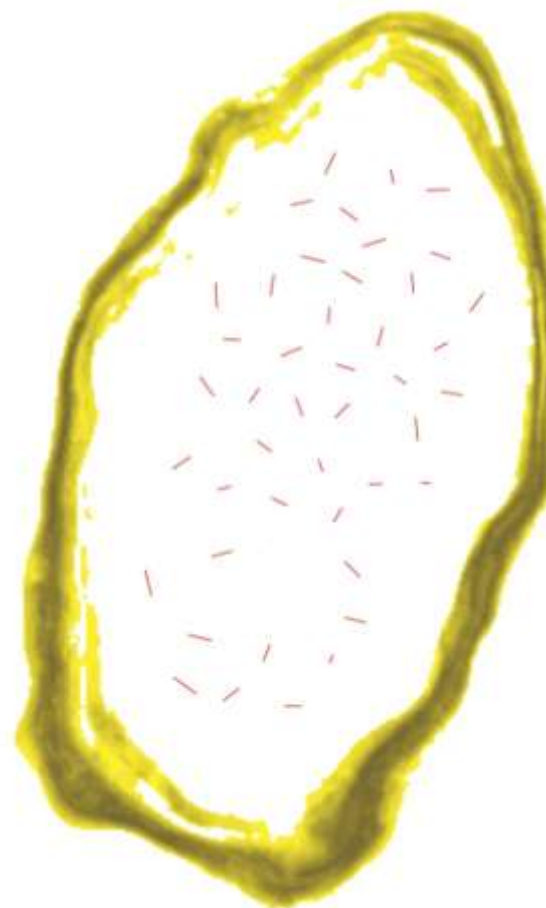
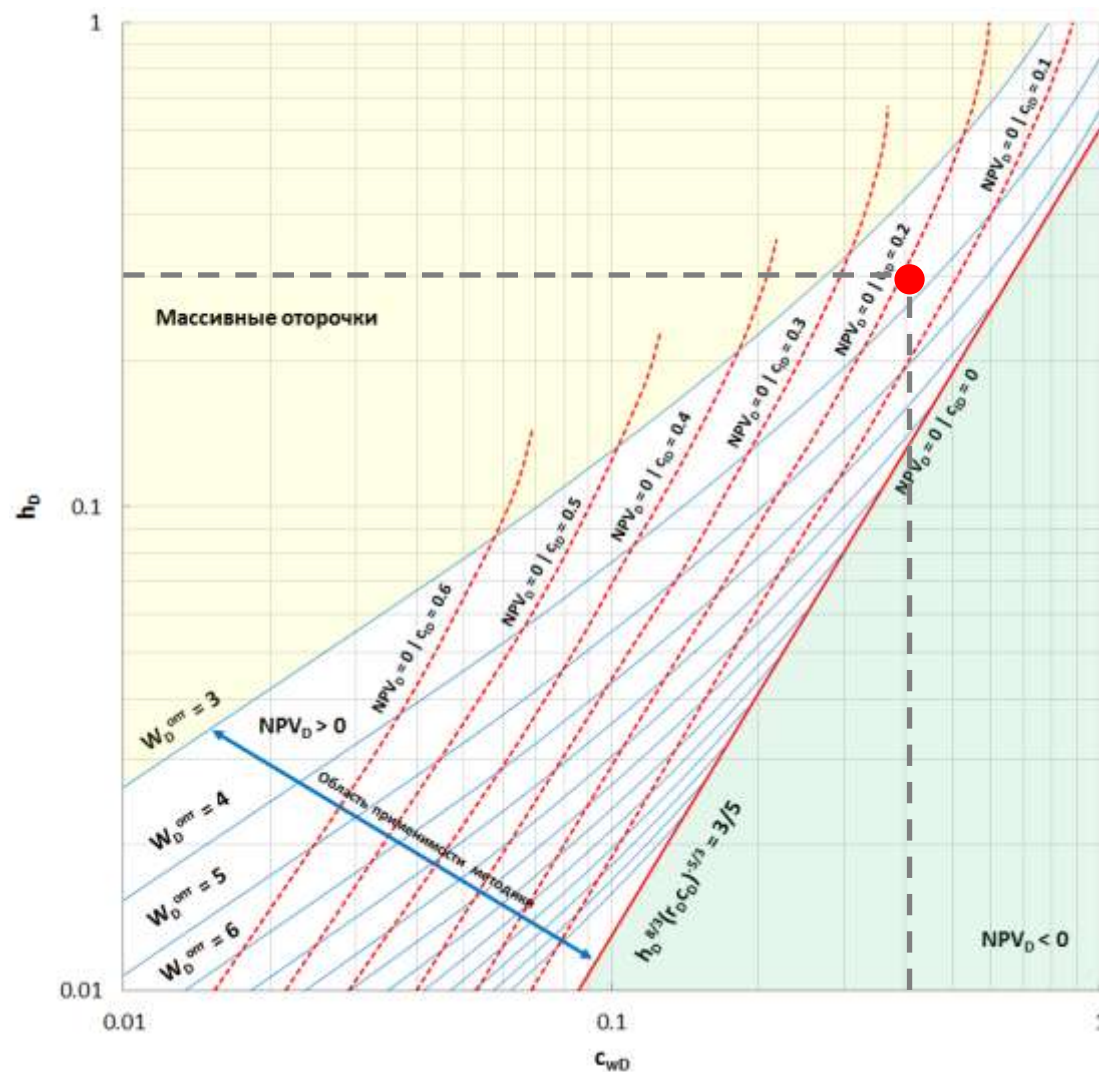
$$R = \frac{Q_\Gamma}{V_\Gamma} - \text{коэффициент извлечения газа}$$



Потери подвижных запасов нефти

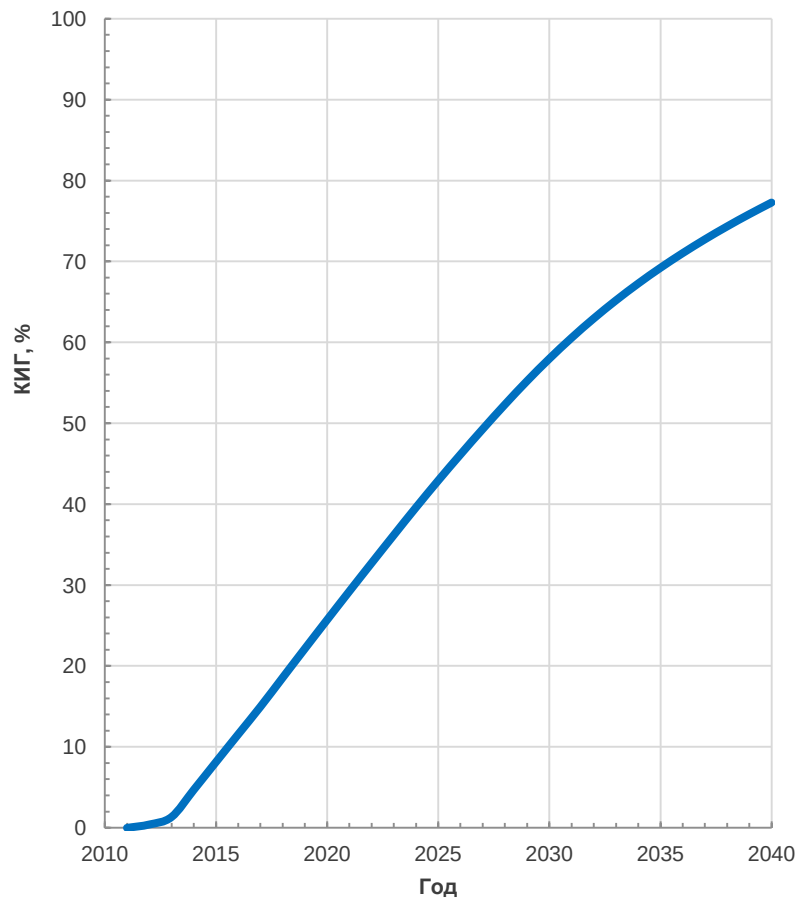
$$\frac{\Delta V_H}{V_H}(R) = F_{\text{dw}} \left(1 - \frac{1}{2} (1 - F_{\text{dg}}) \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4F_{\text{dg}}(1 - R)}{(1 - F_{\text{dg}})^2}} \right) \right) \frac{(1 - K_{\text{выт}})}{K_{\text{выт}}}$$

Пример оценки



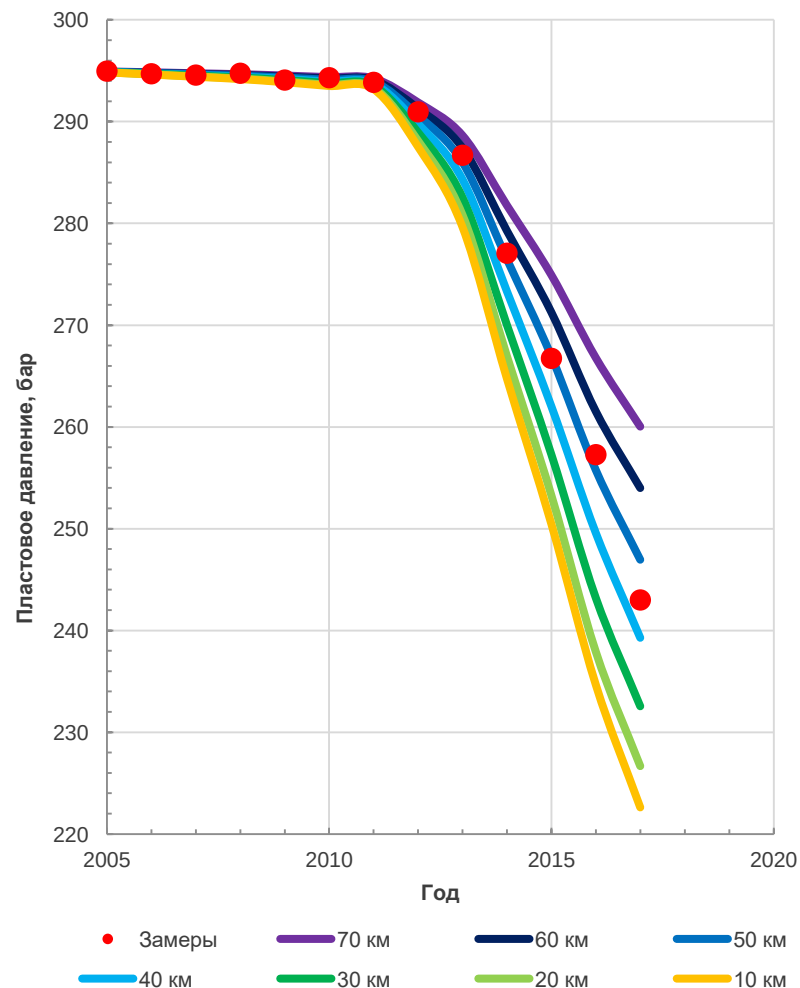
Пример оценки

Темп отбора газа

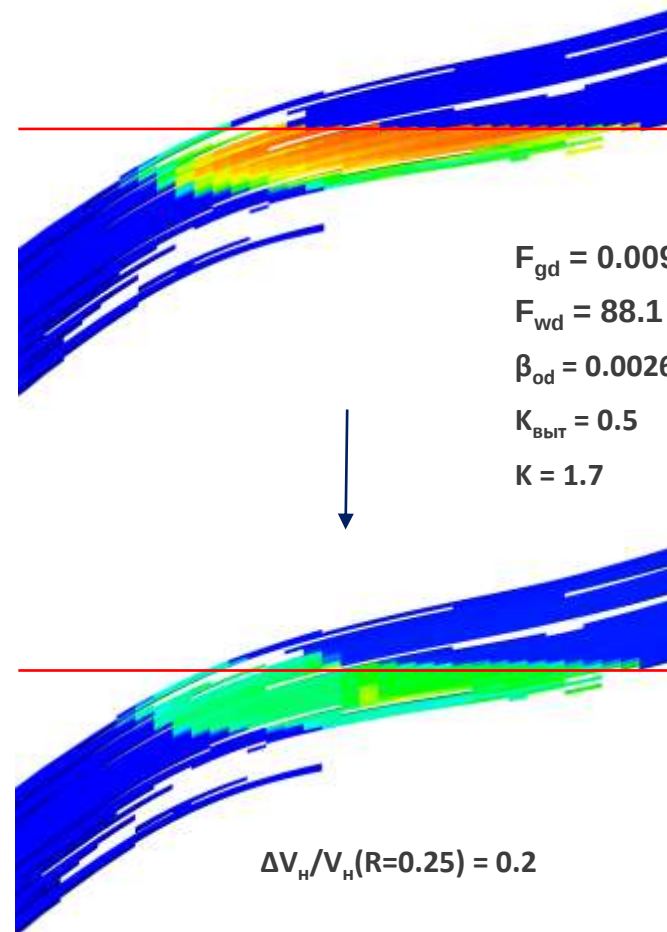
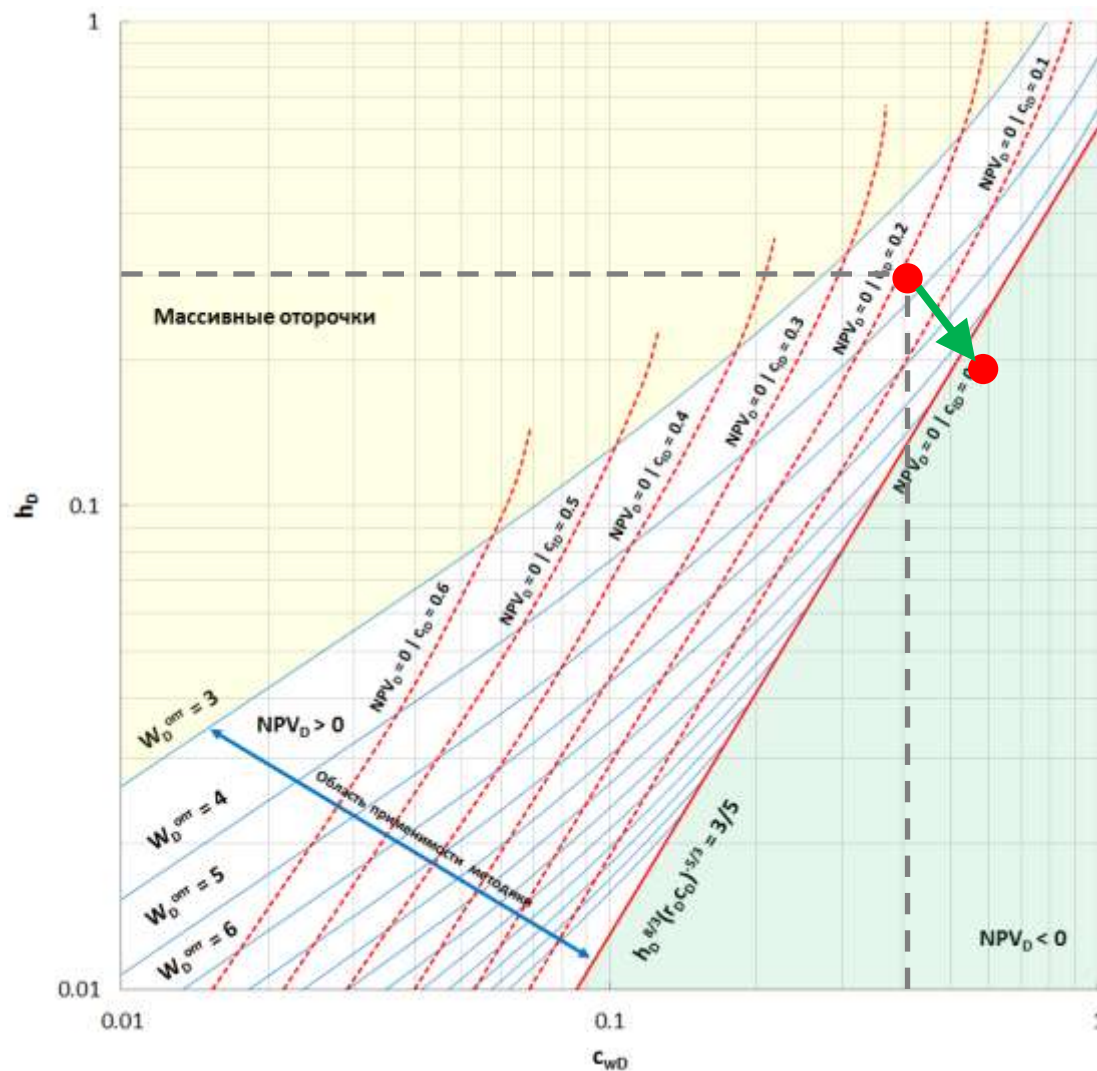


Активность водоносной области соответствует её протяженности

Определение активности водоносной области



Пример оценки



Заключение

1. Построена аналитическая модель расформирования нефтяной оторочки при разработке газовой шапки
2. Определены основные безразмерные параметры, влияющие на степень потери подвижных запасов нефти при разработке газовой шапки
3. Предложенные безразмерные параметры могут использоваться для количественного определения понятия «нефтяная оторочка»

Спасибо за внимание!
