



World Viscous Oil Production Techniques

Moscow SPE Section
June 17 2008

*Maurice B Dusseault
University of Waterloo
Ontario Canada*

Методы добычи вязкой нефти в мире

Московская секция SPE
17 июня 2008

*Морис Б Дюссо
Университет Ватерлоо
Онтарио Канада*

Why Viscous Oil (VO)? Почему вязкая нефть (ВН)?

- ◆ High oil price
- ◆ Conventional oil more challenging
 - In hands of NOC's
 - Deep offshore
 - Depleting...
- ◆ > Twice as much VO as conventional oil
- ◆ New technologies:
 - Lower OPEX/bbl
 - Higher R_F possible



- ◆ Высокая цена на нефть
- ◆ Обычная нефть более проблемная
 - В руках ННК
 - Глубоководные шельфы
 - Истощается...
- ◆ > ВН в два раза больше, чем обычной нефти
- ◆ Новые технологии:
 - Низкие операционные затраты на баррель
 - Возможен более высокий R_F

The Numbers** Статистика**



◆	How much oil? Сколько нефти?	13.5-14.5 Тб
◆	Conventional? (<100 cP) Обычной? (<100 cP)	4.5-4.8 Тб
◆	Viscous oil? (VO >100 cP) Вязкой нефти?	8.5-9.5 Тб
	→ VO in (fractured) limestones?	
	ВН в (трещиноватом) известняке?	2.1-2.5 Тб
	→ VO in sandstones? ВН в песчаниках	6.0-7.0 Тб
◆	Where? Где?	
	→ In Canada В Канаде	2.5 Тб
	→ In Venezuela В Венесуэле	1.7 Тб
	→ Russia Россия	0.6 Тб
	→ Middle East (mainly limestones)	2.0 Тб
	Средний Восток (в основном известняк)	

**All these estimates are subject to uncertainty, incomplete data, different definitions, etc.

**Данные цифры могут быть неточными, основываться на неполных данных, различных определениях и т.д.

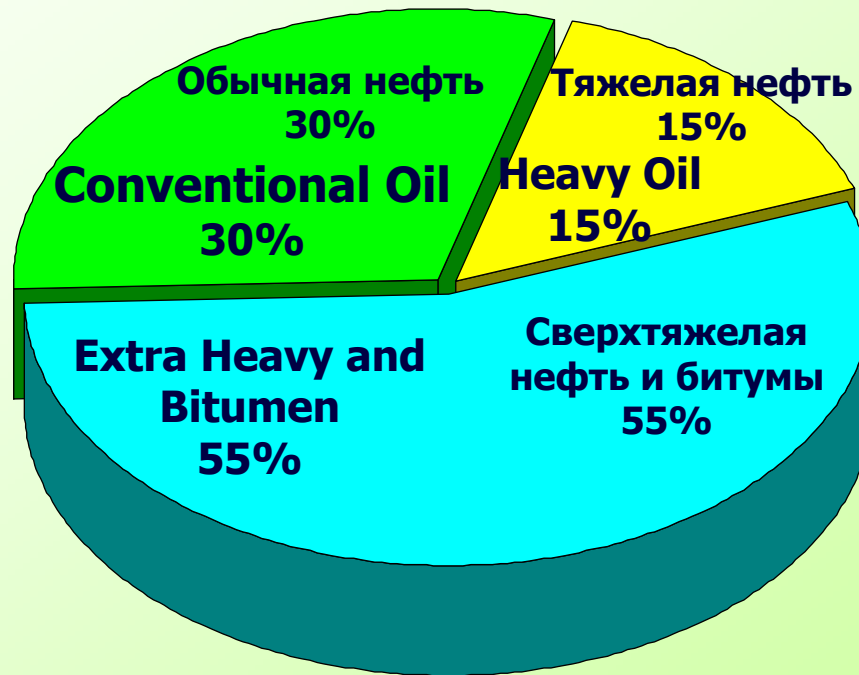
World Oil Endowment

Мировой фонд запасов нефти



Probably the total endowment is ~14 Tb*
Venezuela and Canada together have ~30% of this

Общий фонд запасов возможно составляет ~14 Tb*
На долю Венесуэлы и Канады приходится ~30%

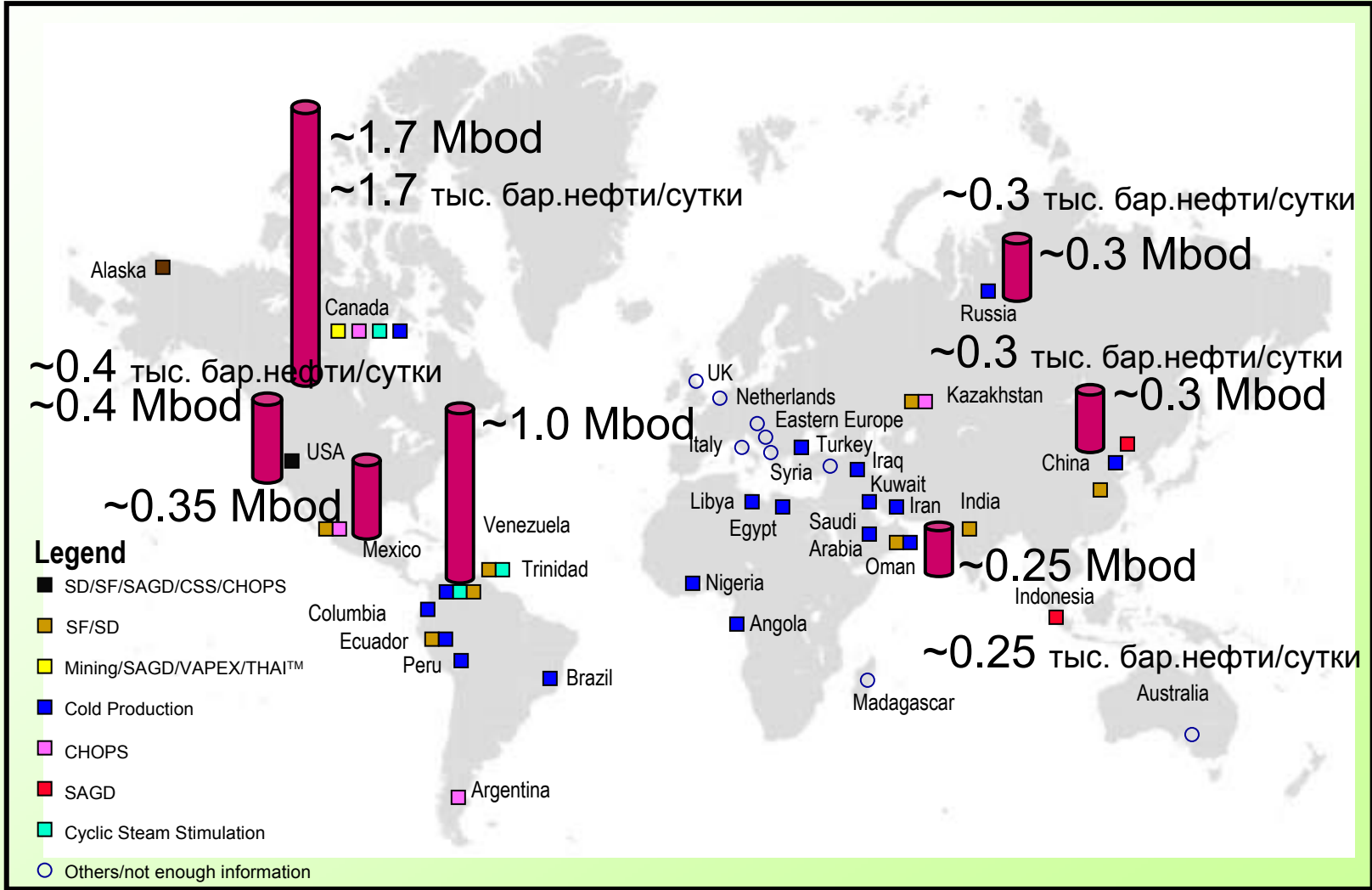


Oil shales not included

Нефтеносные сланцы не включены

*1 Tb = $160 \times 10^9 \text{ m}^3$

Source: MacGregor, 1996 and UNITAR, 1998
Источник: MacGregor, 1996 and UNITAR, 1998

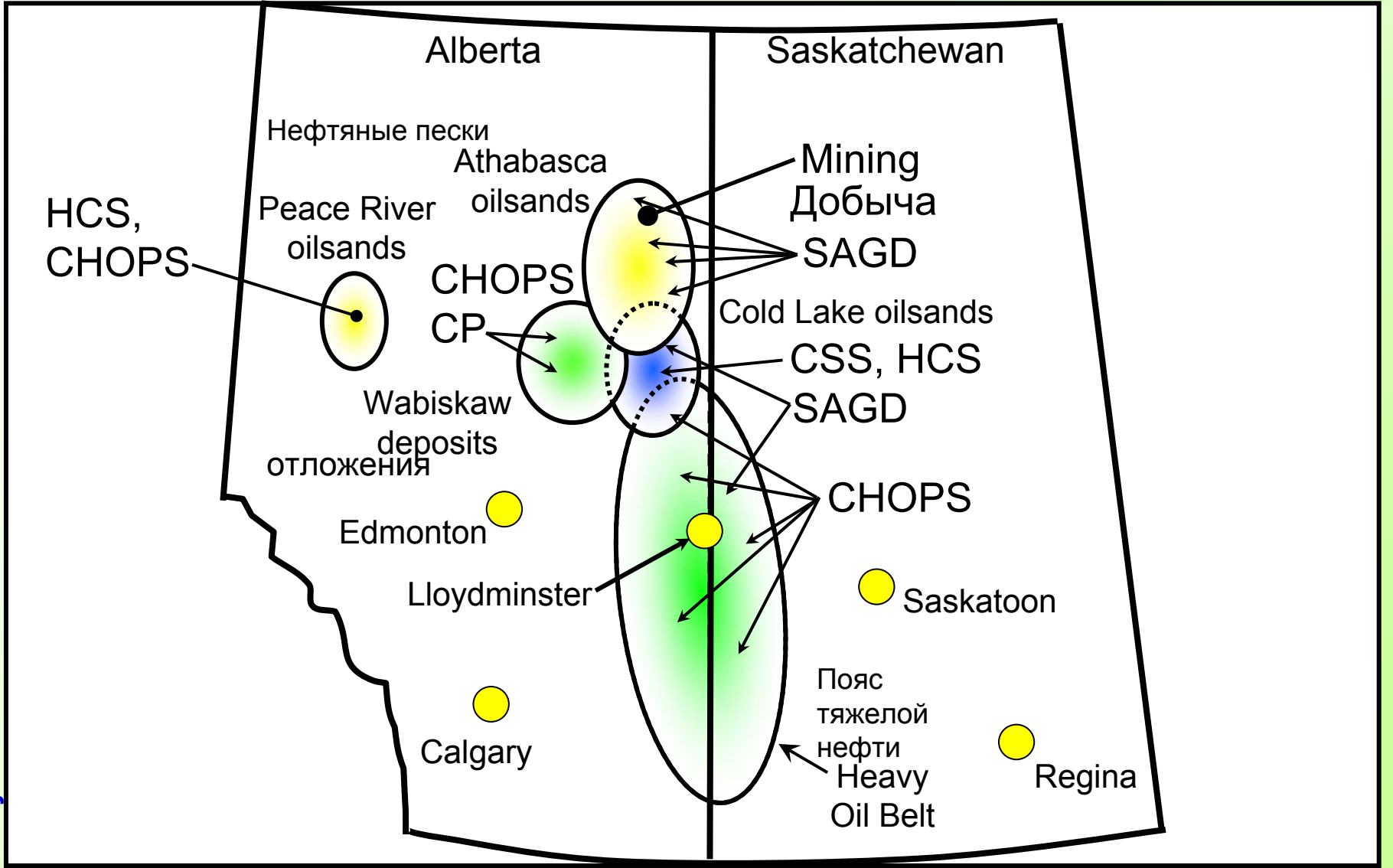


Development Areas, Canada

Районы освоения, Канада

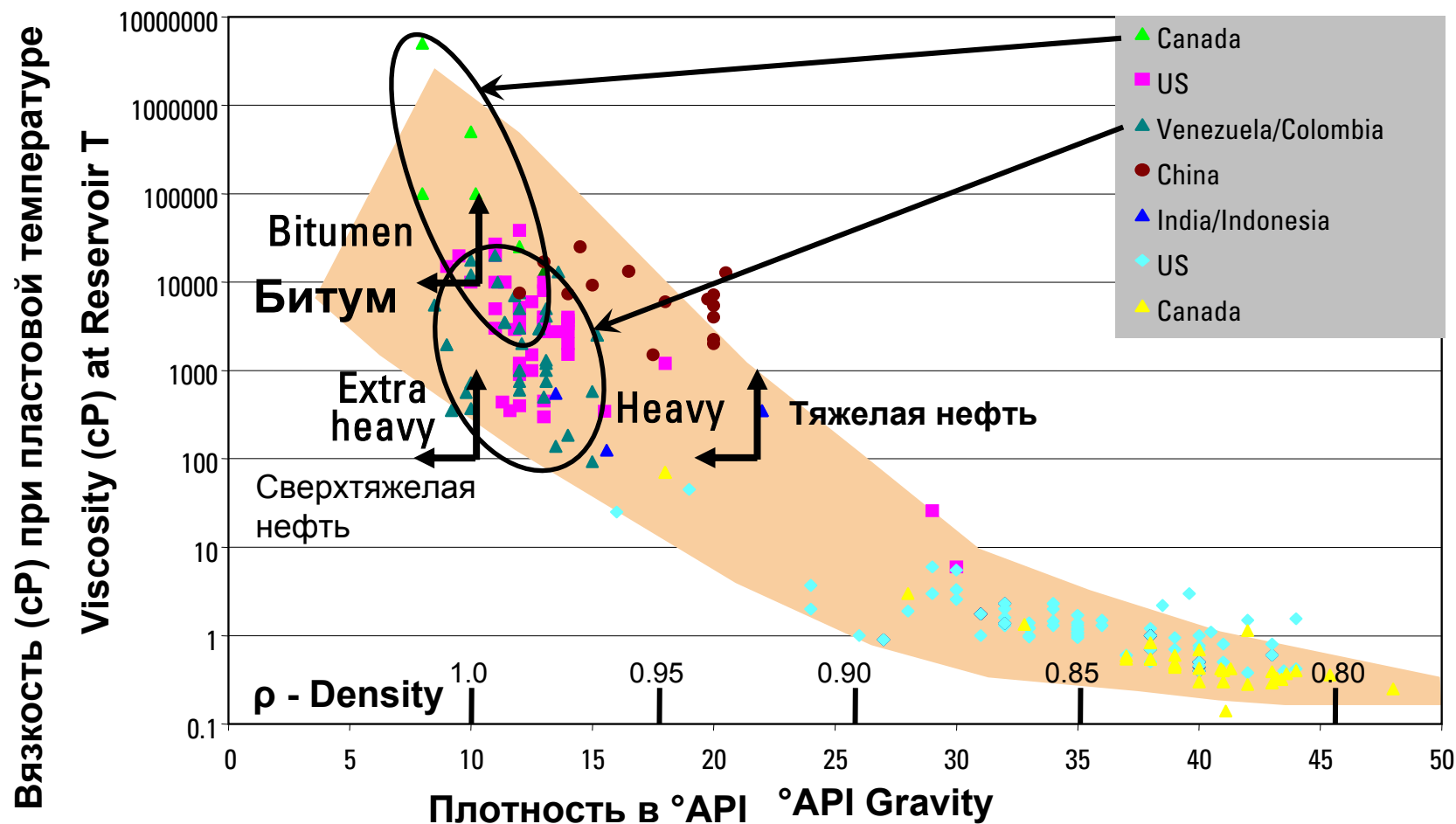


Heavy Oil Production



°API and μ for Viscous Oils

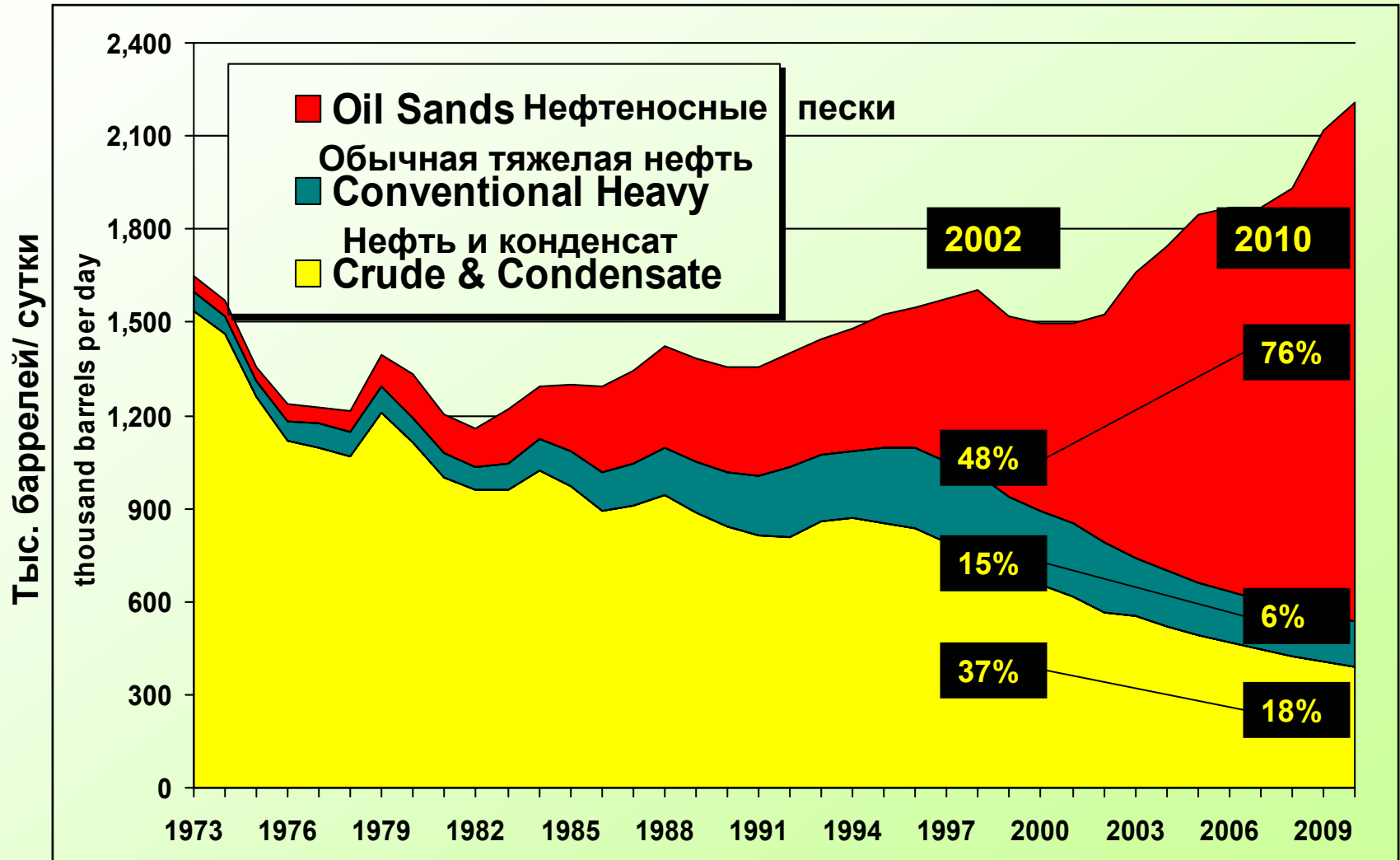
°API и μ для вязких нефтей



Source: OGJ EOR Survey (April 2004)

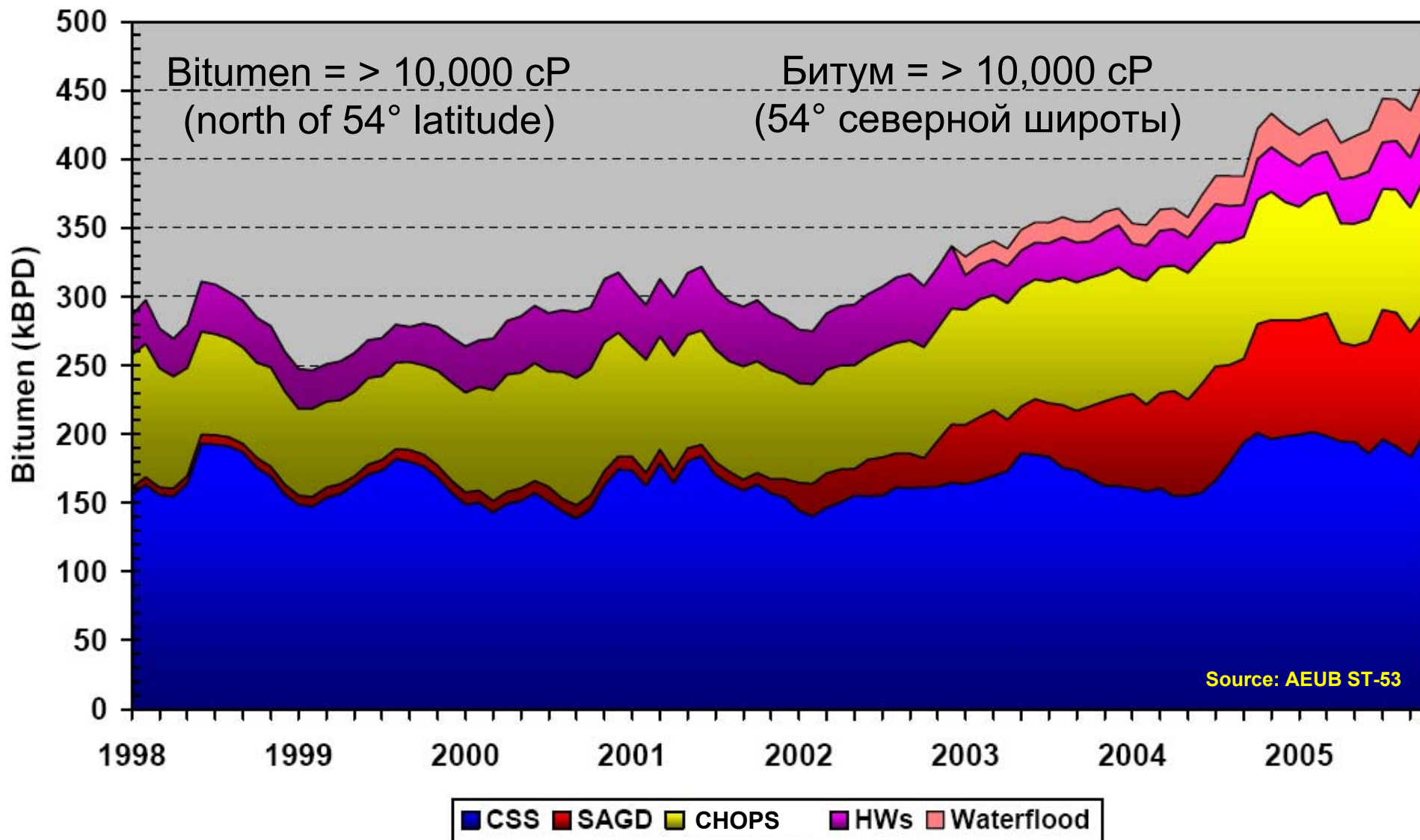
Alberta Production - 1973-2010

Добыча в районе Альберта- 1973-2010



Alberta *In Situ* Bitumen Prod.

Добыча битума в пластовых
условиях в районе Альберта.

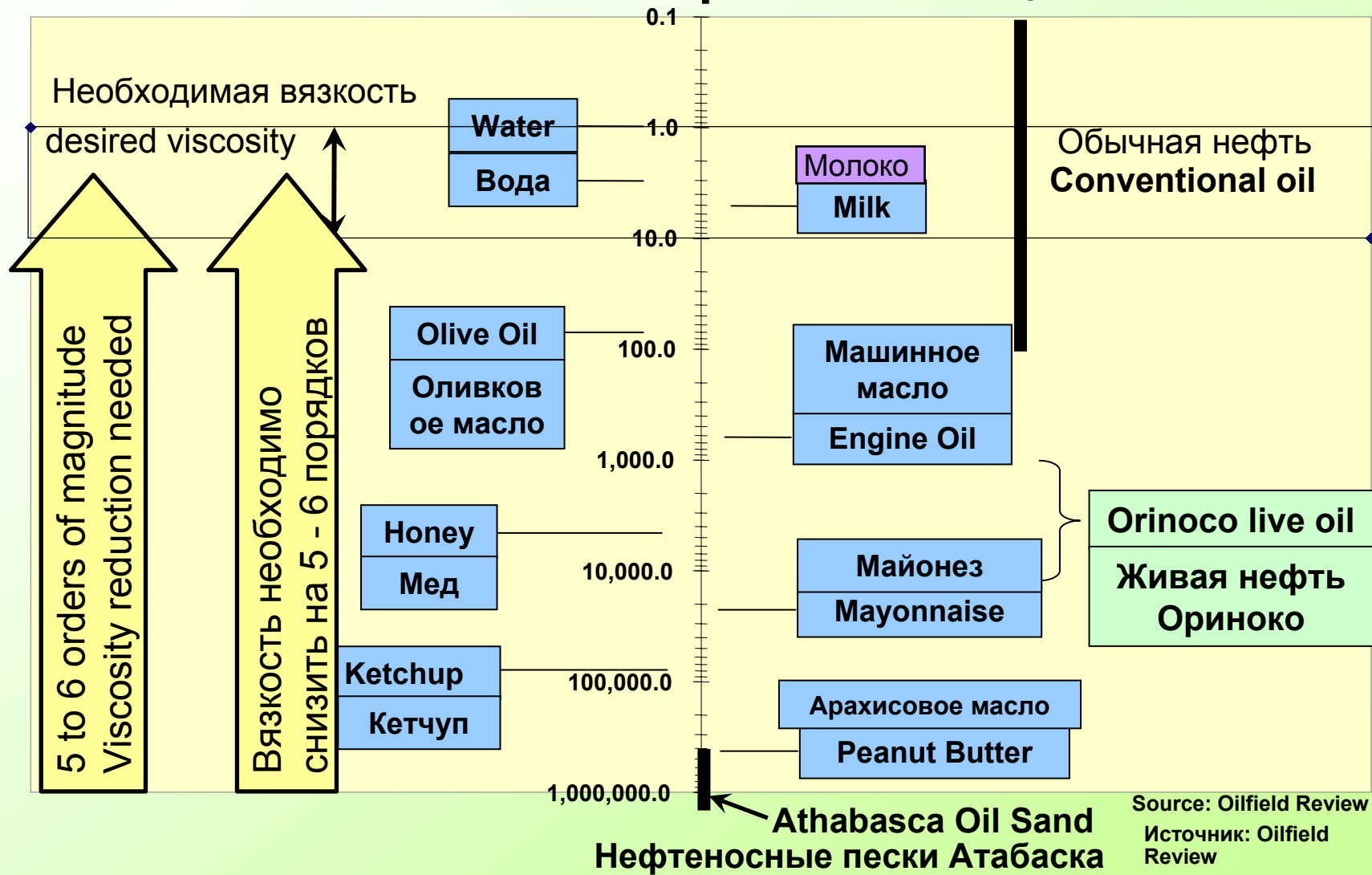


Common Substance Viscosity

Вязкость обычных веществ



centipoise Сантипуаз



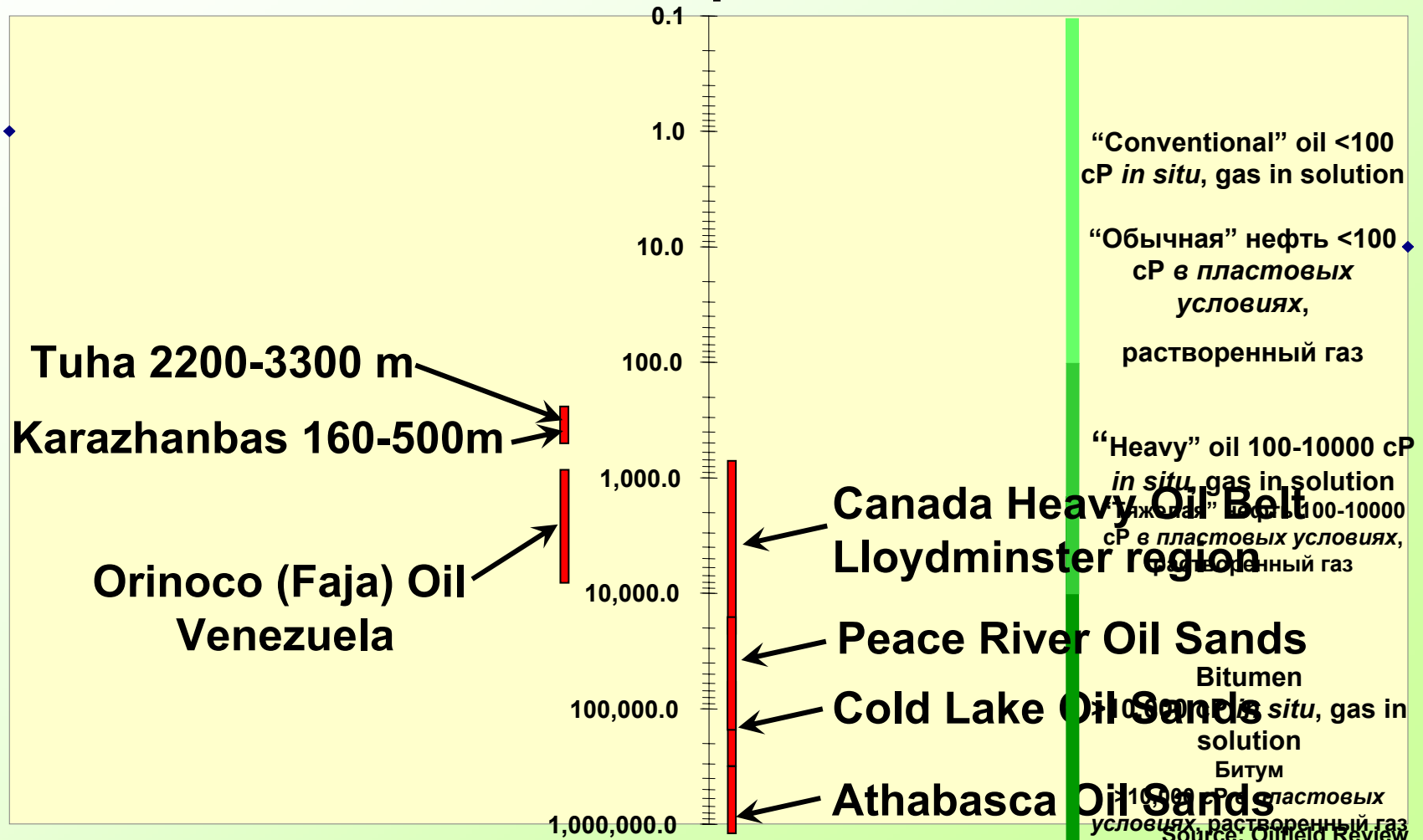
Source: Oilfield Review
Источник: Oilfield Review

Viscous Oils of the World

Вязкие нефти в мире



centipoise Сантипуаз



“Conventional” oil <100 cP *in situ*, gas in solution

“Обычная” нефть <100 сР в пластовых условиях, растворенный газ

“Heavy” oil 100-10000 cP *in situ*, gas in solution
“Тяжелая” нефть 100-10000 сР в пластовых условиях, растворенный газ

Canada Heavy Oil Belt
Lloydminster region

Peace River Oil Sands

Cold Lake Oil Sands
Bitumen

Athabasca Oil Sands
Bitumen

“Heavy” oil 100-10000 cP *in situ*, gas in solution

“Тяжелая” нефть 100-10000 сР в пластовых условиях, растворенный газ

Source: Oilfield Review

Production Processes Технологии добычи

Primary Первичные

- Cold Production
- CHOPS
- Холодная добыча
- CHOPS

Thermal Термические

- Steam Пар
- CSS
 - Flooding
 - Заводнение
 - SAGD

- Combustion Горение
- Fire Flooding
 - Внутрипластовое
 - THAI™
 - Top Down
 - Сверху вниз

Hybrid Processes Гибридные методы

Non-Thermal Нетермические

- Water Flooding
- Заводнение
- CO₂, Gas Injec. Закачка CO₂, газа.
- Chemical Injec. Закачка химреагентов
- VAPEX

Sequencing Последовательные операции





New Production Technologies

Новые технологии добычи

- ◆ **CP** (Cold Production, horizontal wells)
CP (Холодная добыча, горизонтальные скважины)
- ◆ **CHOPS** (Cold Heavy Oil Prod. with Sand)
CHOPS (Холодный метод добычи тяжелой нефти с песком)
- ◆ **VAPEX** (Vapor-Assisted Petr. Extraction)
VAPEX (Углеводородная добыча при закачке пара)
 - A variant is Warm VAPEX Как вариант Теплый VAPEX
- ◆ **SAGD** (Steam-Assisted Gravity Drainage)
SAGD (Гравитационное дренирование при закачке пара)
- ◆ **HCS** (Horizontal Cyclic Steam) **HCS** (Горизонтальное циклическое нагнетание пара)
- ◆ **THAI™** (Toe-to-Heel Air Injection) (Нагнетание воздуха «с пятки на носок»)
- ◆ **PPT** (Pressure Pulsing Technology)
PPT (Технология пульсовых колебаний давления)
 - Can help various production methods
Может помочь при различных методах добычи



Horizontal wells
Горизонтальные
скважины

X

X

Vertical wells
Вертикальные
скважины

CSS-Cyclic Steam
Stimulation
CSS- Циклическая
паротепловая
обработка

X

Thermal Термические

Non-thermal Нетермические

The only viable commercial technology in 1985 for *in situ* viscous oil (> 50,000 cP) extraction from high porosity sandstones was CSS – Cyclic Steam Stimulation

Единственной эффективной коммерческой технологией добычи вязких нефтей в *пластовых условиях* (> 50,000 cP) в 1985 была добыча из высокопористых песчаников методом CSS – Циклической паротепловой обработкой

Horizontal wells Горизонтальные скважины -----	SAGD* HCS* THAI™	Cold Flow* +PPT VAPEX? IGI*...?	*Boldface means fully commercialized *Жирным шрифтом обозначены методы полностью поставленные на коммерческий поток
	Vertical wells Вертикальные скважины	CSS*	
Thermal Термические		Non-thermal Нетермические	

Currently - 2008 - viable technologies at a commercial scale exist in all categories (actual and emerging)

В данный момент - 2008 – эффективные технологии в промышленном масштабе существуют во всех категориях (фактические и появляющиеся)

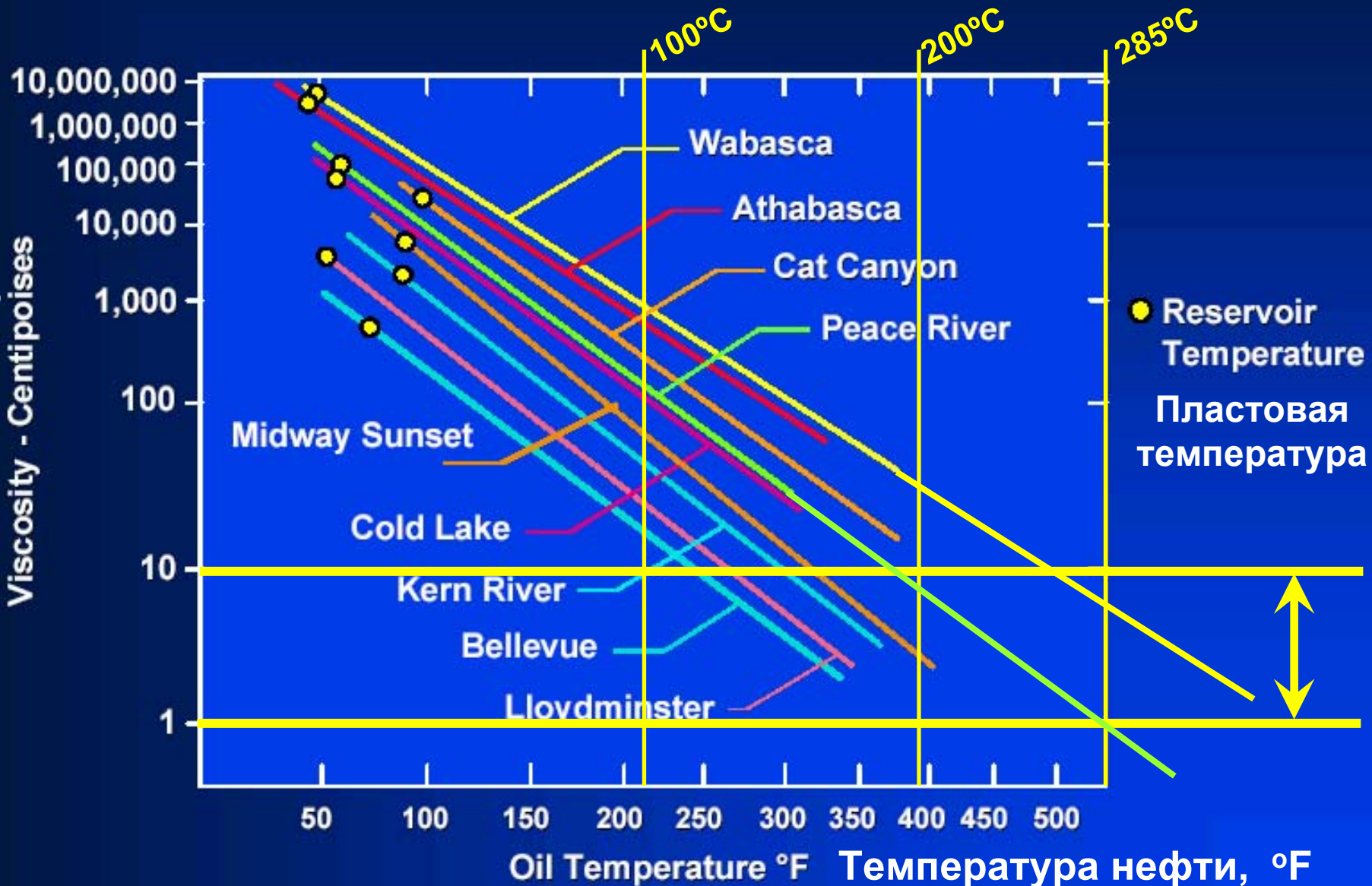
- ◆ Dr processes used for conventional oil
 - ➔ No viscosity reduction is required
 - ➔ Issues are displacement efficiency, mobility, fingering, coning, etc
- ◆ In heavy oil, we must reduce the viscosity
- ◆ There are three ways to do this...
 - 1: Increase the temperature (e.g. steam)
 - 2: Dilute with a solvent (e.g. naphtha inj.)
 - 3: Reduce the molecular weight by...
 - ➔ A: Combustion causing molecular scission
 - ➔ B: Pyrolysis causing molecular scission
- ◆ Dr технологии, используемые при добыче обычной нефти
 - ➔ Не требуется снижения вязкости
 - ➔ Проблемными являются коэффициент вытеснения, мобильность, образование языков, конусообразование и т.д.
- ◆ В тяжелой нефти, мы должны снизить вязкость
- ◆ Существует три способа снижения вязкости...
 - 1: Увеличение температуры (напр., паром)
 - 2: Разбавление растворителем (напр., закачка нефти (лигроина))
 - 3: Снижение молекулярной массы за счет...
 - ➔ A: Горения, вызывающего молекулярное расщепление
 - ➔ B: Пиролиза, вызывающего молекулярное расщепление

Oil Viscosity and Temperature

Вязкость нефти и температура



Вязкость - Сантипуаз
Viscosity - Centipoises



Cyclic Steam Stimulation - Vertical Wells

Циклическая паротепловая обработка
(CSS)
- Вертикальные скважины

Classic CSS

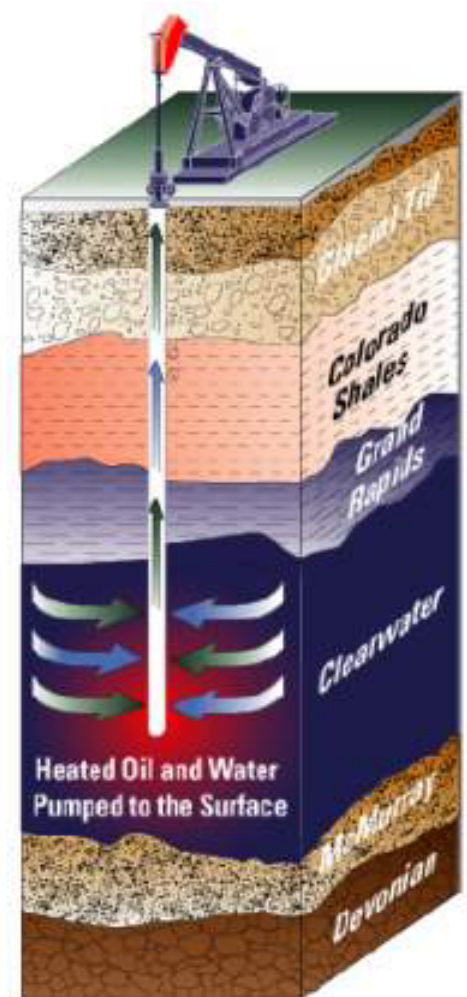
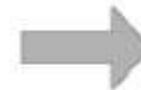
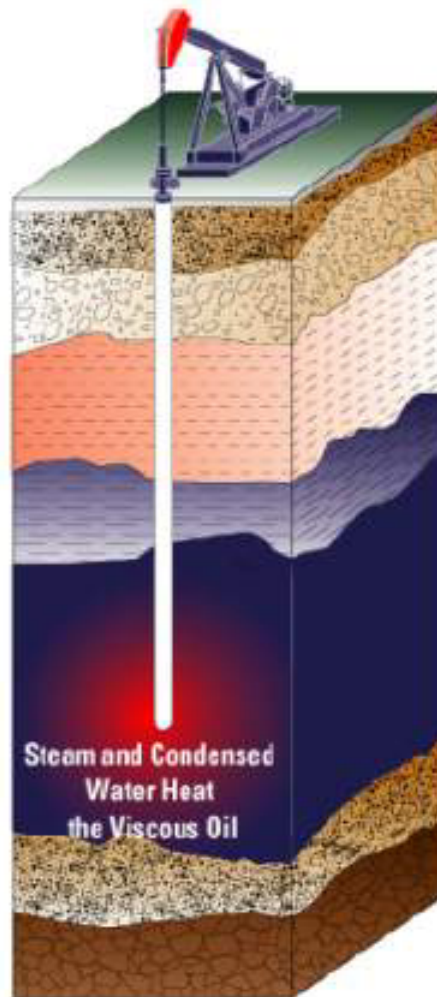
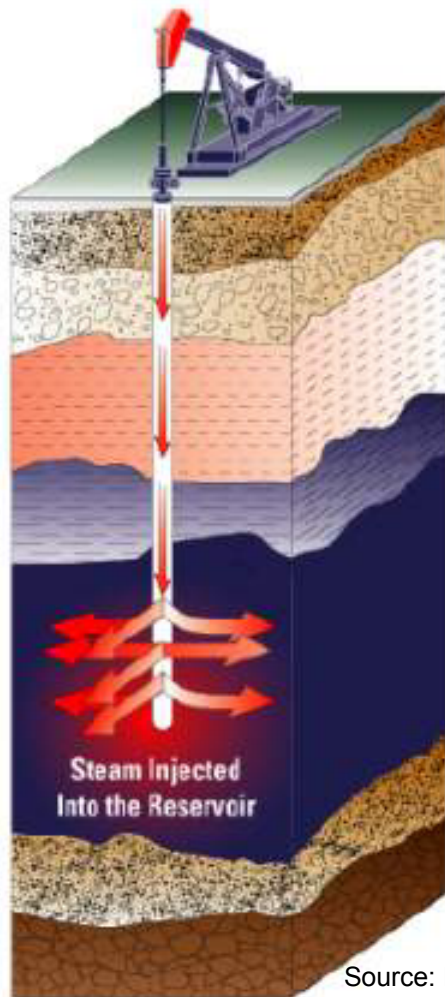
Классический метод CSS



Stage 1 Steam injection
Стадия 1 Закачка пара

Stage 2 Soak
Стадия 2
Парообработка пласта

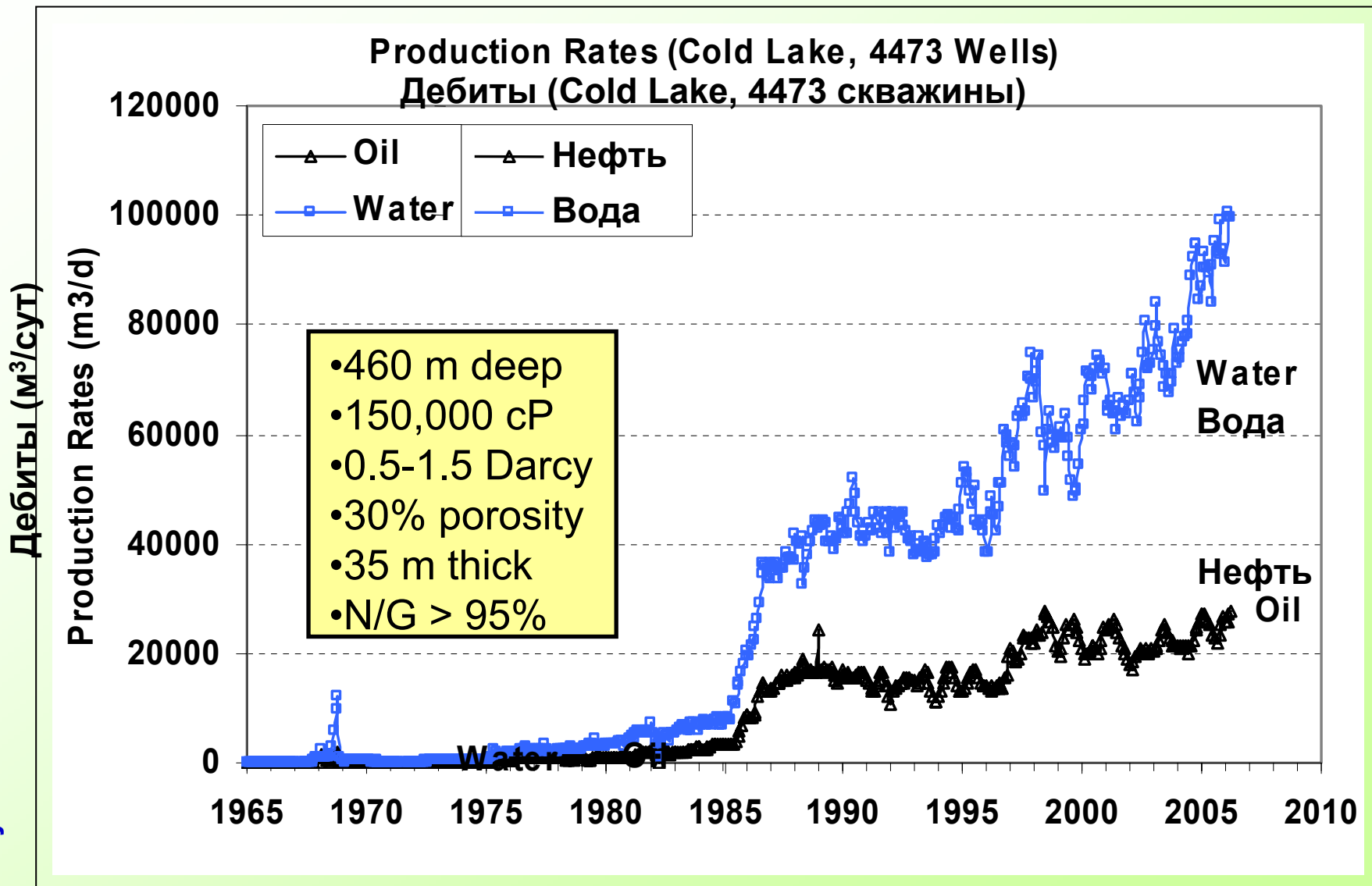
Stage 3 Production
Стадия 3 Добыча



Source: Imperial Oil Ltd.

IOL Cold Lake - CSS Project

IOL Cold Lake - проект CSS

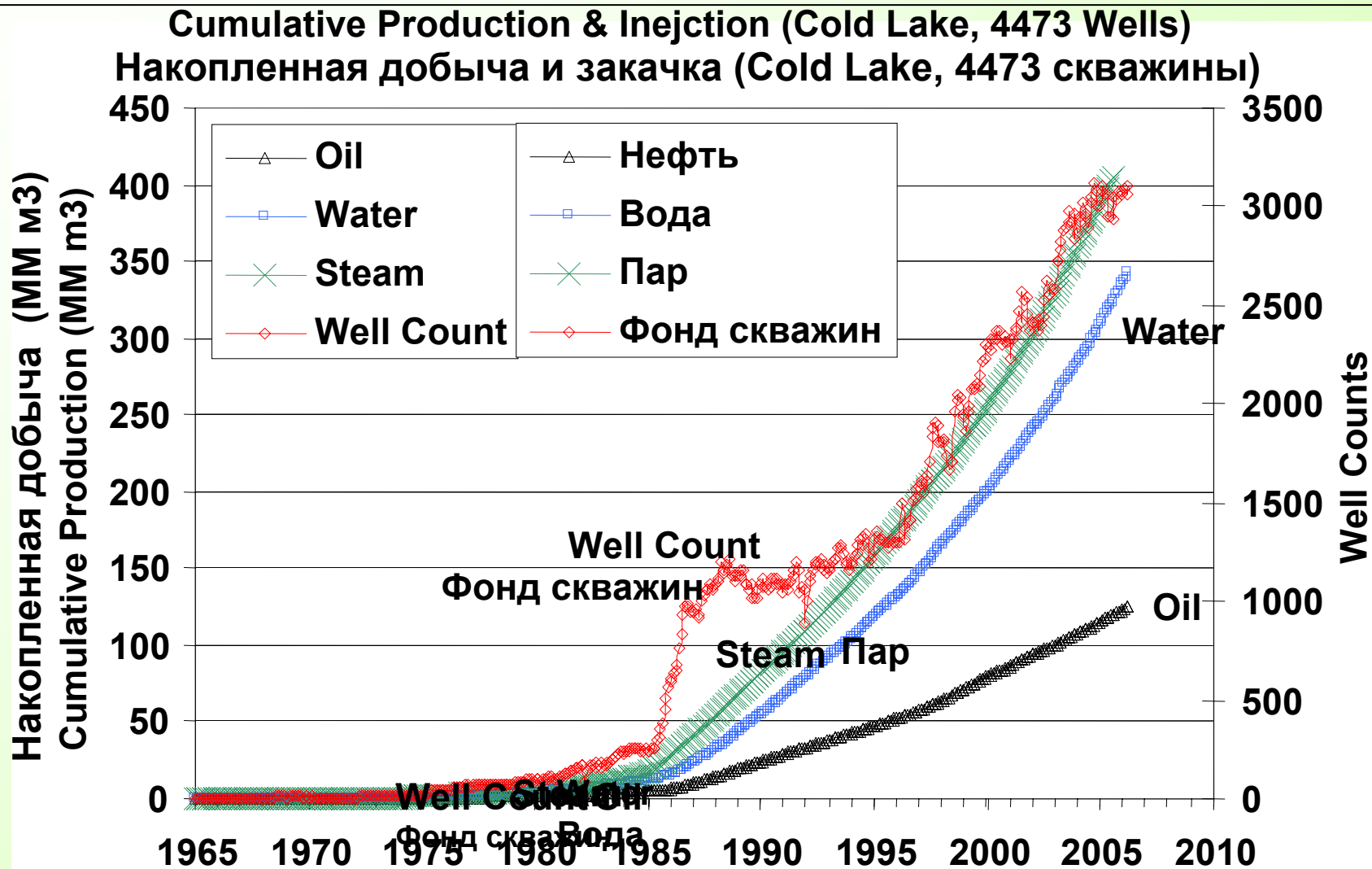


Cumulative Data - IOL Cold Lake

Сводные данные - IOL Cold Lake



Heavy Oil Production

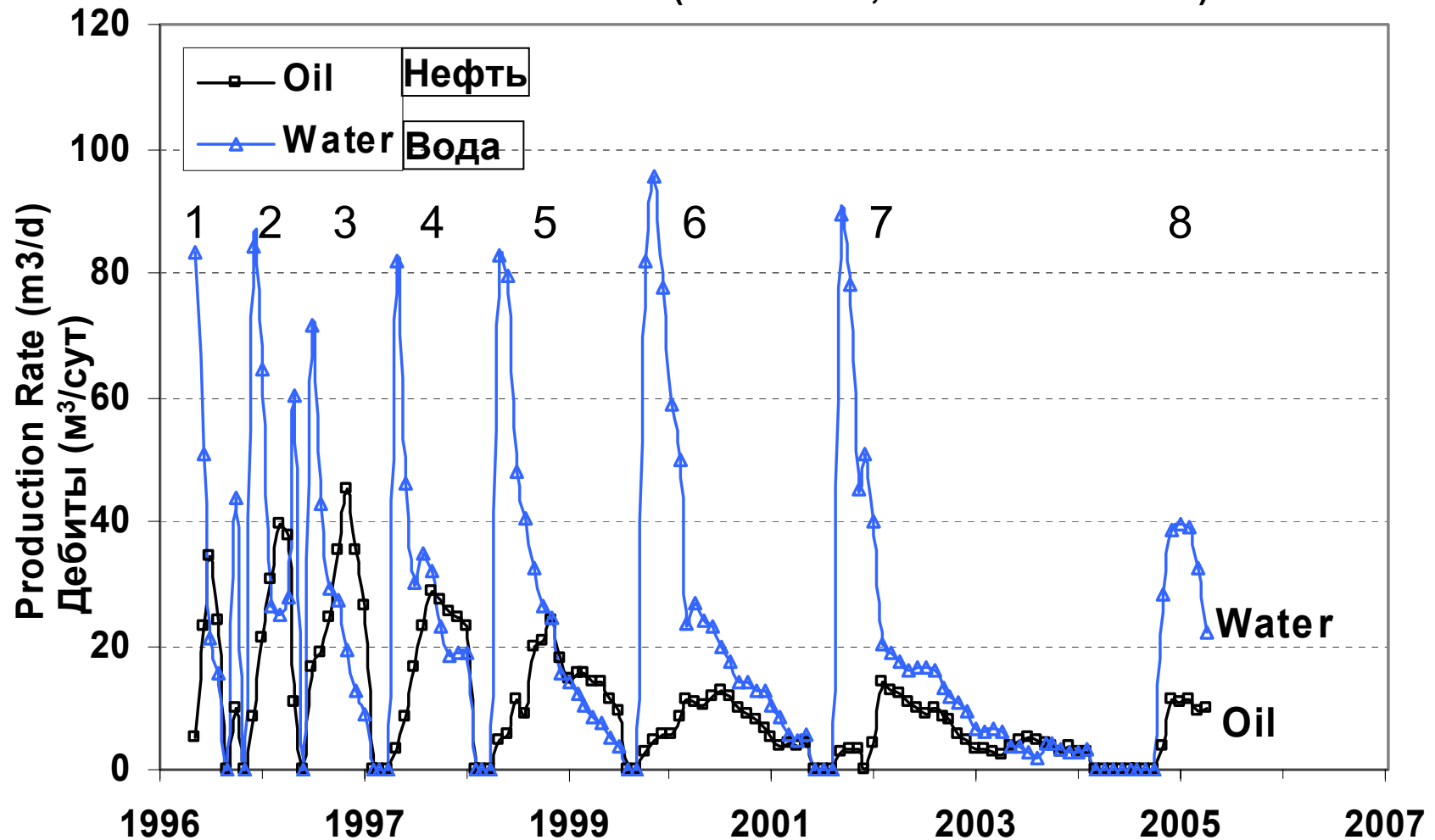


Typical CSS Well Behavior

Типичное поведение
скважины при CSS



Дебиты (Cold Lake, Скважина: 1-3-66-4W4)
Production Rates (Cold Lake, Well: 1-3-66-4W4)

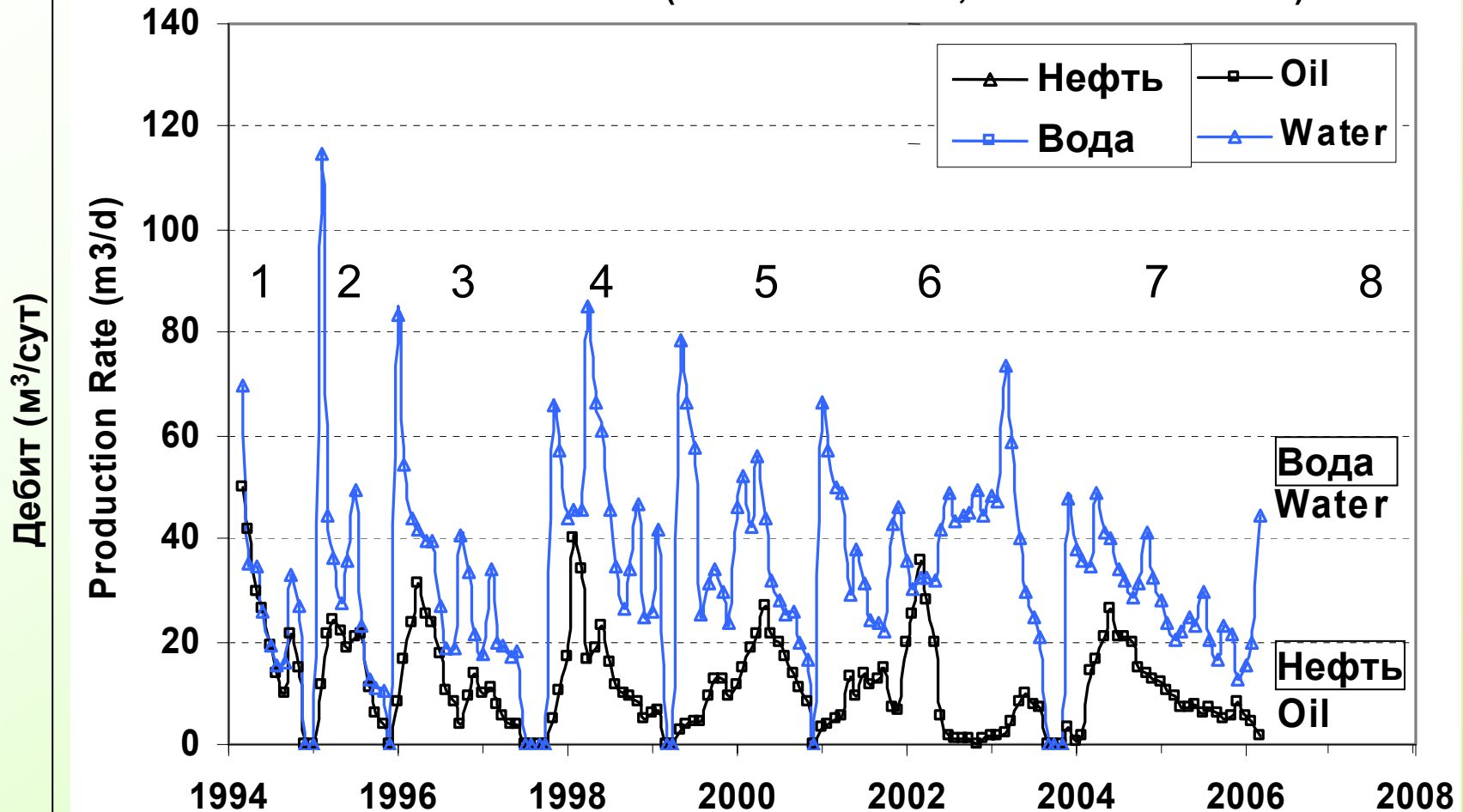


Typical CSS Well Behavior

Типичное поведение скважины при CSS

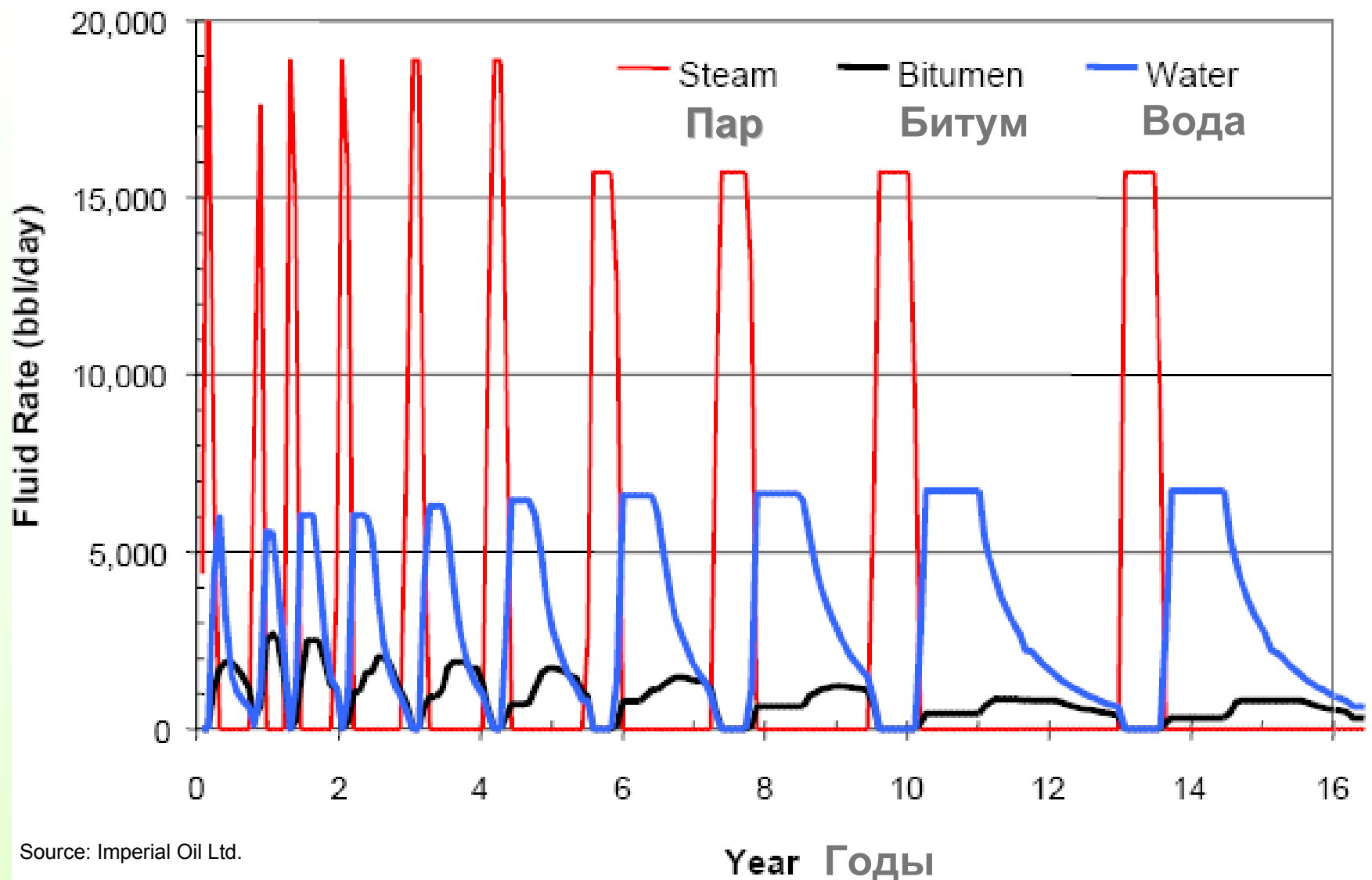


Дебиты (Cold Lake Field, Скважина: 1-35-64-4W4)
Production Rates (Cold Lake Field, Well: 1-35-64-4W4)



Summary of IOL Steam Strategy

Выводы по проекту IOL
Стратегии по проведению
циклической паротепловой
обработки



Imperial Oil Project - CSS

Imperial Oil Project - CSS



- ◆ 35-40 m of uniform sand, fabulous reservoir
- ◆ 450 m deep, 1-3 D permeability, very uniform sand body, good k_v/k_h ratio
- ◆ μ - 150,000 to 200,000 cP *in situ* without gas
- ◆ CSS - 12-18 cycles, R_F approaches 0.30
- ◆ SOR goes as low as 2.4 (30 years practice)
- ◆ Operating expenses exceed 15 \$/b (CAN)
 - ➔ 70% of costs are steam generation
- ◆ ~25,000 m³ production per well over life
- ◆ 4 acre spacing

- ◆ 35-40 м однородного песка, потрясающий коллектор
- ◆ Глубина - 450 м, проницаемость - 1-3 Д, очень однородный песчаный горизонт, хорошее соотношение k_v/k_h
- ◆ μ - 150,000 до 200,000 сР *в пластовых условиях* без газа
- ◆ CSS - 12-18 циклов, R_F подходов 0.30
- ◆ SOR проходит на низком уровне 2.4 (30-ти летний опыт работы)
- ◆ Операционные расходы превысили 15 \$/б (CAN)
 - ➔ 70% затрат приходится на выработку пара
- ◆ ~25,000 м³ продукции на скважину за весь период эксплуатации
- ◆ 4 акра - расстояние между скважинами

SCREENING CRITERIA

- ◆ Viscosity > 10,000 cP
- ◆ Depth 250 m to 800 m
- ◆ Permeability as low as 0.2 D (improves)
- ◆ Thickness > 9-10 m (depending on \$/b)
- ◆ Porosity > 25%

OPERATIONS

- ◆ SOR 2.2 - 3.5
- ◆ OPEX (2007) is about 20 \$/b (CH₄ fuel)
- ◆ R_F has climbed at IOL from 16% to 35%

КРИТЕРИИ ПРИМЕНИМОСТИ

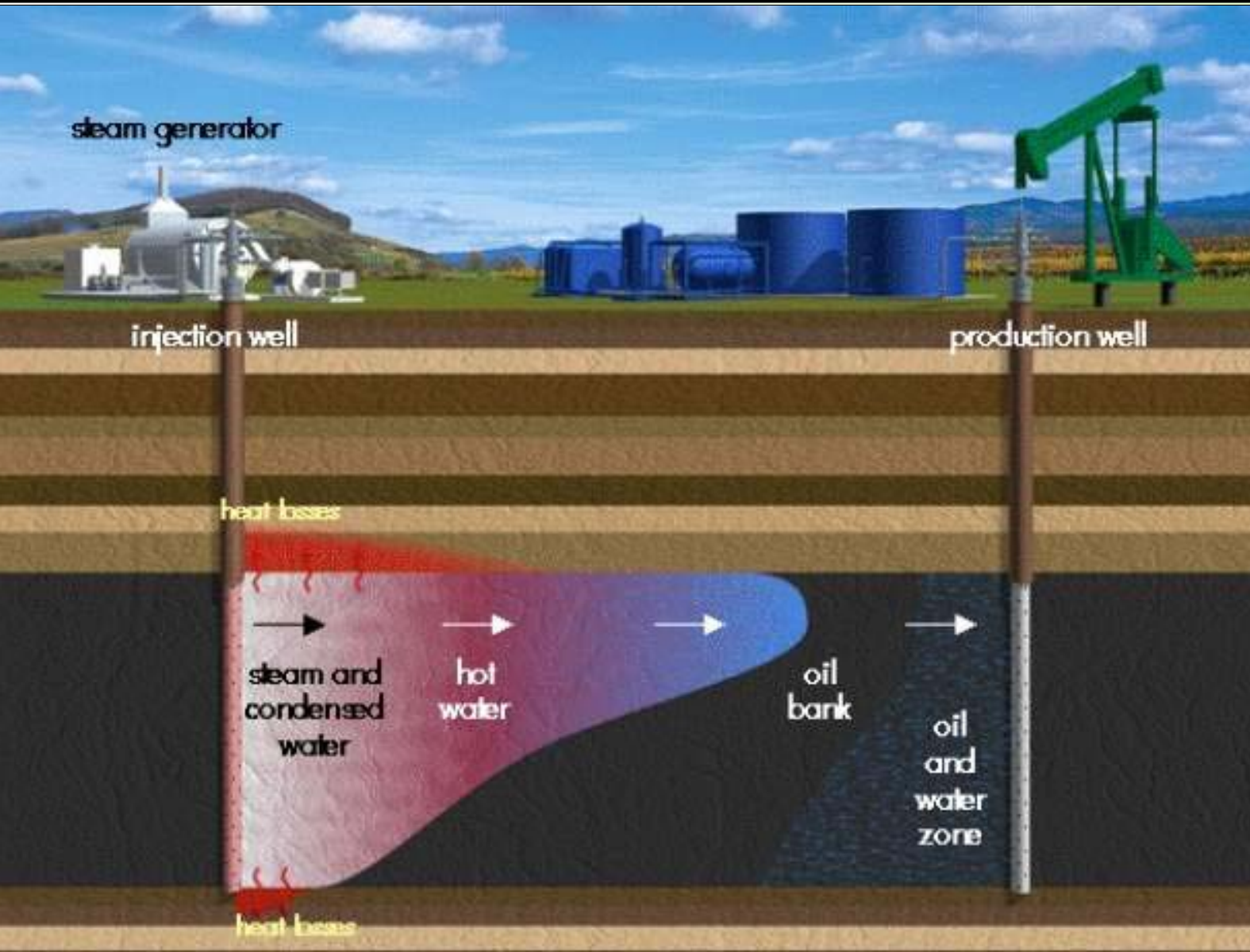
- ◆ Вязкость > 10,000 cP
- ◆ Глубина от 250 м до 800 м
- ◆ Проницаемость на уровне 0.2 Д (улучшается)
- ◆ Толщина > 9-10 м (в зависимости от \$/б)
- ◆ Пористость > 25%

ОПЕРАЦИИ

- ◆ SOR 2.2 - 3.5
- ◆ Операционные расходы (2007) составили около 20 \$/б (CH₄ топливо)
- ◆ R_F увеличился при IOL с 16% до 35%

Steam Flooding

Заводнение с закачкой пара



Belridge California...
(Aera Pet.)

Belridge Калифорния...
(Аера Пет.)



Comparing CSS and Steamfloods



CSS

- ◆ <1000 m
- ◆ >10 m thickness
- ◆ $\phi > 0.25$
- ◆ $k > 0.5-1 D$
- ◆ $API > 10^\circ$
- ◆ $\mu > \sim 10,000 \text{ cP}$
- ◆ $SOR \sim 2.2 - 3.5$
- ◆ Well spacing 4-8 acres
- ◆ $R_F \sim 15-35\%$

Steamflooding

- ◆ <1000 m depth
- ◆ >10 m thickness
- ◆ $\phi > 0.25$
- ◆ $k > 2-4 D$
- ◆ $API 12^\circ-23^\circ$
- ◆ $\mu < \sim 5000 \text{ cP}$
- ◆ $SOR \sim 2 - 6$
- ◆ Well spacing 2-6 acres
- ◆ $R_F \sim 30-60\%^{**}$

****Can be higher with higher SOR & low μ**

CSS

- ◆ <1000 м глубина
- ◆ >10 м толщина
- ◆ $\phi > 0.25$
- ◆ $k > 0.5-1$ Д
- ◆ $API > 10^\circ$
- ◆ $\mu > \sim 10,000$ сР
- ◆ $SOR \sim 2.2 - 3.5$
- ◆ Расстояние между скважинами 4-8 акров
- ◆ $R_F \sim 15-35\%$

Заводнение с закачкой пара

- ◆ <1000 м глубина
- ◆ >10 м толщина
- ◆ $\phi > 0.25$
- ◆ $k > 2-4$ Д
- ◆ $API 12^\circ-23^\circ$
- ◆ $\mu < \sim 5000$ сР
- ◆ $SOR \sim 2 - 6$
- ◆ Расстояние между скважинами - 2-6 акров
- ◆ $R_F \sim 30-60\%^{**}$

****Может быть выше при более высоком SOR и низком μ**

Pike's Peak was an economical CSS project, SOR ~2.2, in an excellent reservoir, 10-30 m thick, k 2-6 D, μ = ~6000 cP, z = 500 m, etc.

Пик Пайка был экономичным CSS проектом, SOR ~2.2, в превосходном коллекторе, 10-30 м толщиной, k 2-6 D, μ = ~6000 cP, z = 500 м и т.д.



Pike's Peak is being converted to SAGD
Пик Пайка был переведен в SAGD

CHOPS

Cold Heavy Oil Production with Sand

CHOPS

Холодный метод добычи тяжелой нефти
с песком

CHOPS - What is it?

CHOPS - Что это такое?

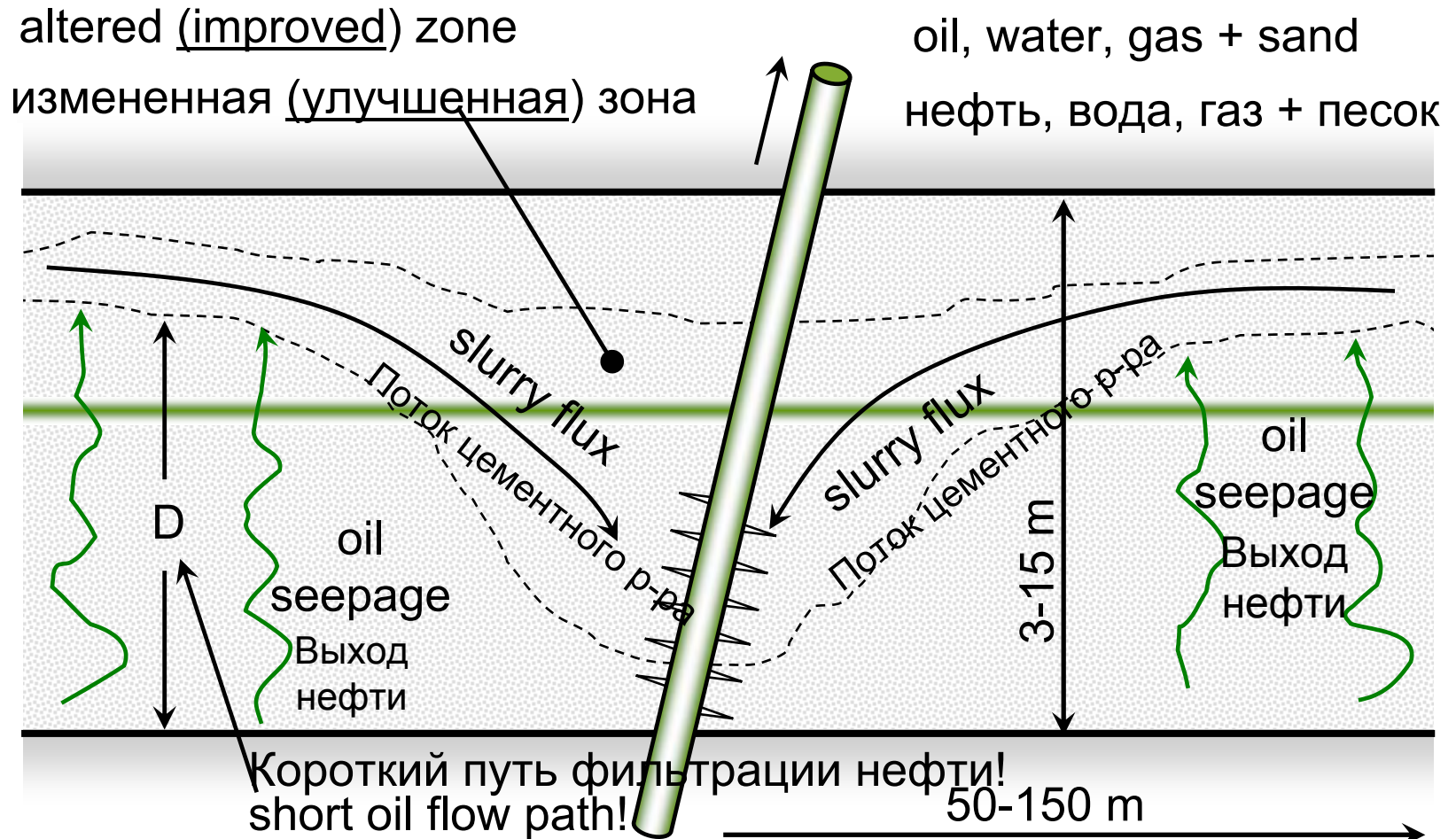


- ◆ C - Cold
- ◆ H - Heavy
- ◆ O - Oil
- ◆ P - Production with Sand
- ◆ Produced ~650,000 b/d <20° API oil in Canada during 2003-2007
- ◆ Major OPEX reductions in 1990's
- ◆ 10-20% R_F (OOIP recovery factors)
- ◆ Applicable worldwide, subject to selection with appropriate screening criteria

- ◆ C - Холодный
- ◆ H - Тяжелый
- ◆ O - Нефть
- ◆ P - Добыча с песком
- ◆ Добыто ~650,000 б/сут <20° API нефти в Канаде в период 2003-2007
- ◆ Значительные снижения операционных затрат в 1990х
- ◆ 10-20% R_F (факторы добычи начальных геологических запасов)
- ◆ Применяется в всем мире, подлежит отбору, руководствуясь соответствующими критериями применимости

The Short Flow Path Concept

Концепция короткого пути
фильтрации флюидов



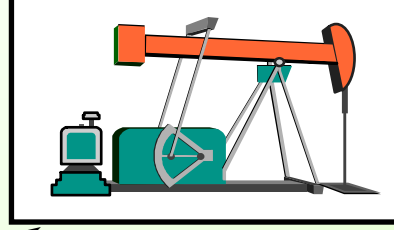
Процесс CHOPS
CHOPS process

×10-20 vertical exaggeration!

**×10-20 степень преувеличения
вертикального масштаба!**

Luseland Field History

История месторождения Luseland



- ◆ 30 verticals drilled in 1982-85
- ◆ Produced using beam pumps, minimal sand
- ◆ Horizontals tried in 1992-1993 (6×600 m), not successful (all abandoned by 1998)
- ◆ Aggressive CHOPS w. PC pumps started in 1994, implemented conservatively (slowly)
- ◆ On average, 30 wells producing since 1985
- ◆ 30 вертикальных скважин пробурено в 1982-85
- ◆ Добыча велась с помощью станка-качалки, минимальный вынос песка
- ◆ Неудачная попытка бурения горизонтальных скважин 1992-1993 (6×600 м), (все ликвидированы к 1998)
- ◆ Агрессивный CHOPS с PC насосами начал применяться с 1994, реализовывался консервативно (медленно)
- ◆ С 1985 добыча ведется, в среднем, на 30 скважинах

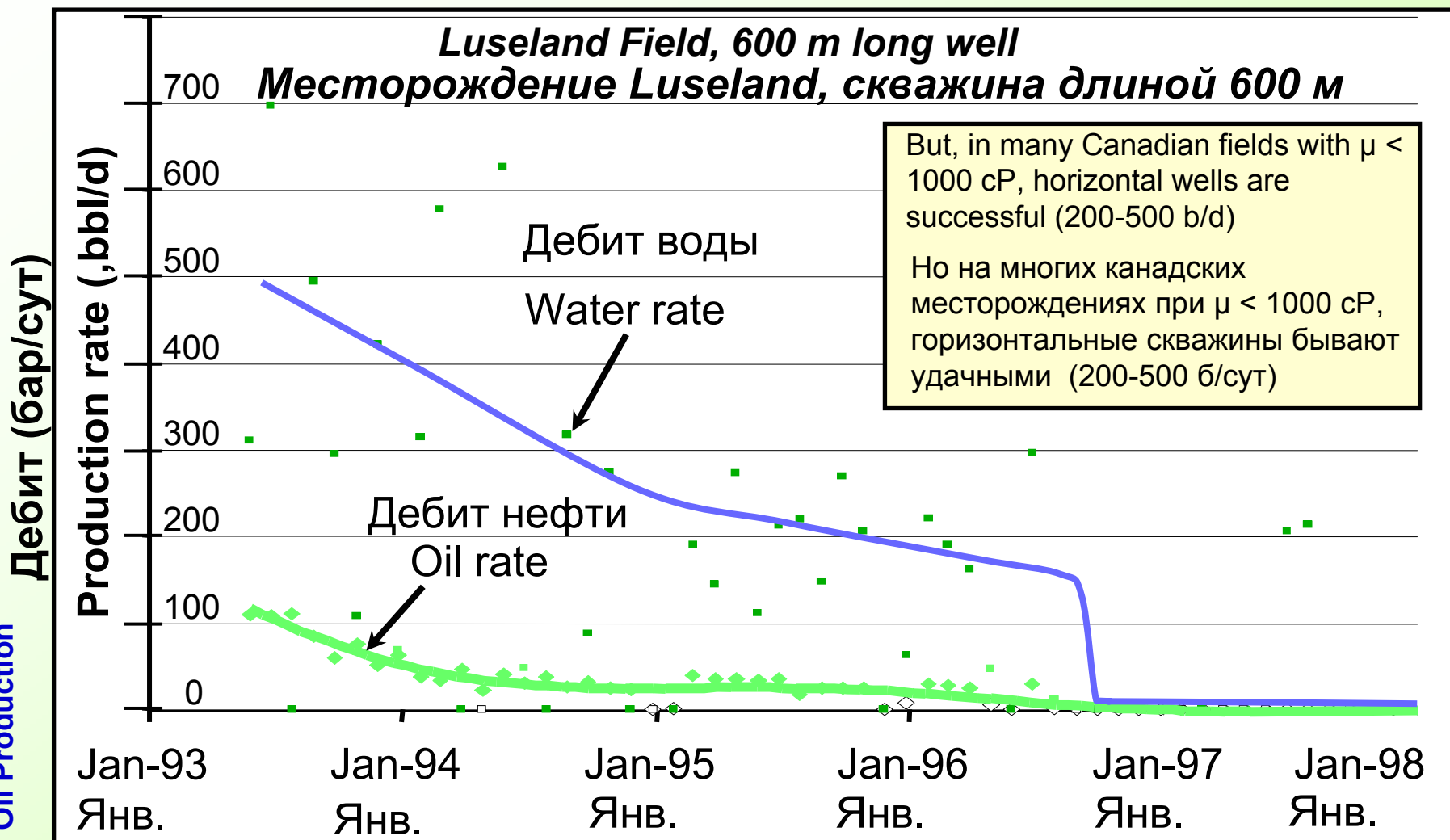


- ◆ Bakken Fmn. (Devonian, unconsolidated)
- ◆ Shallow marine, bar sands, some low k zones
- ◆ $Z = 800$ m, $\phi = 28 - 30\%$, $k = 2-4$ D
- ◆ $API = 11.5-13^\circ$, $\mu = 1400$ cP (live oil *in situ*)
- ◆ $S_o = 0.72$, $S_w = 0.28$ (high!), $S_g = 0$
- ◆ Stratum thickness: 5 - 15 m in centre
- ◆ Initial pressure: $p_o \sim 6-7$ MPa $T \sim 30^\circ C$
- ◆ Gas bubble point: $p_b \approx p_o$

- ◆ Пласт (Девонский период, рыхлый)
- ◆ Мелководно морские, песчаные отмели, некоторые зоны имеют низкий k
- ◆ $Z = 800$ м, $\phi = 28 - 30\%$, $k = 2-4$ Д
- ◆ $API = 11.5-13^\circ$, $\mu = 1400$ сР (подвижная нефть в пластовых условиях)
- ◆ $S_o = 0.72$, $S_w = 0.28$ (высокий!), $S_g = 0$
- ◆ Толщина пласта: 5 - 15 м по центру
- ◆ Первоначальное давление: $p_o \sim 6-7$ МПа $T \sim 30^\circ C$
- ◆ Давление насыщения газа: $p_b \approx p_o$

"Typical" Horizontal Well

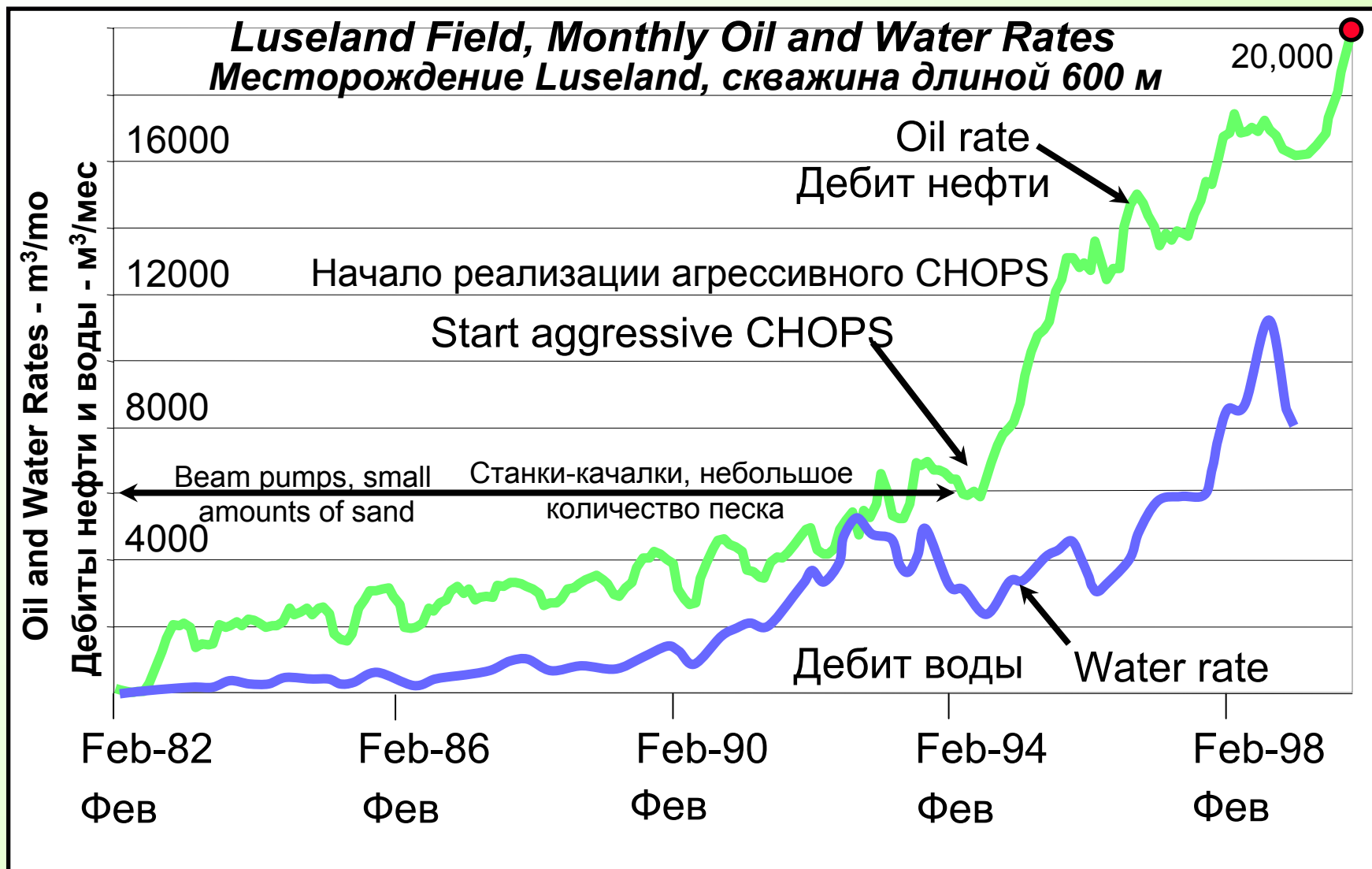
"Типичная"
горизонтальная
скважина



Economic success does not mean high R_F

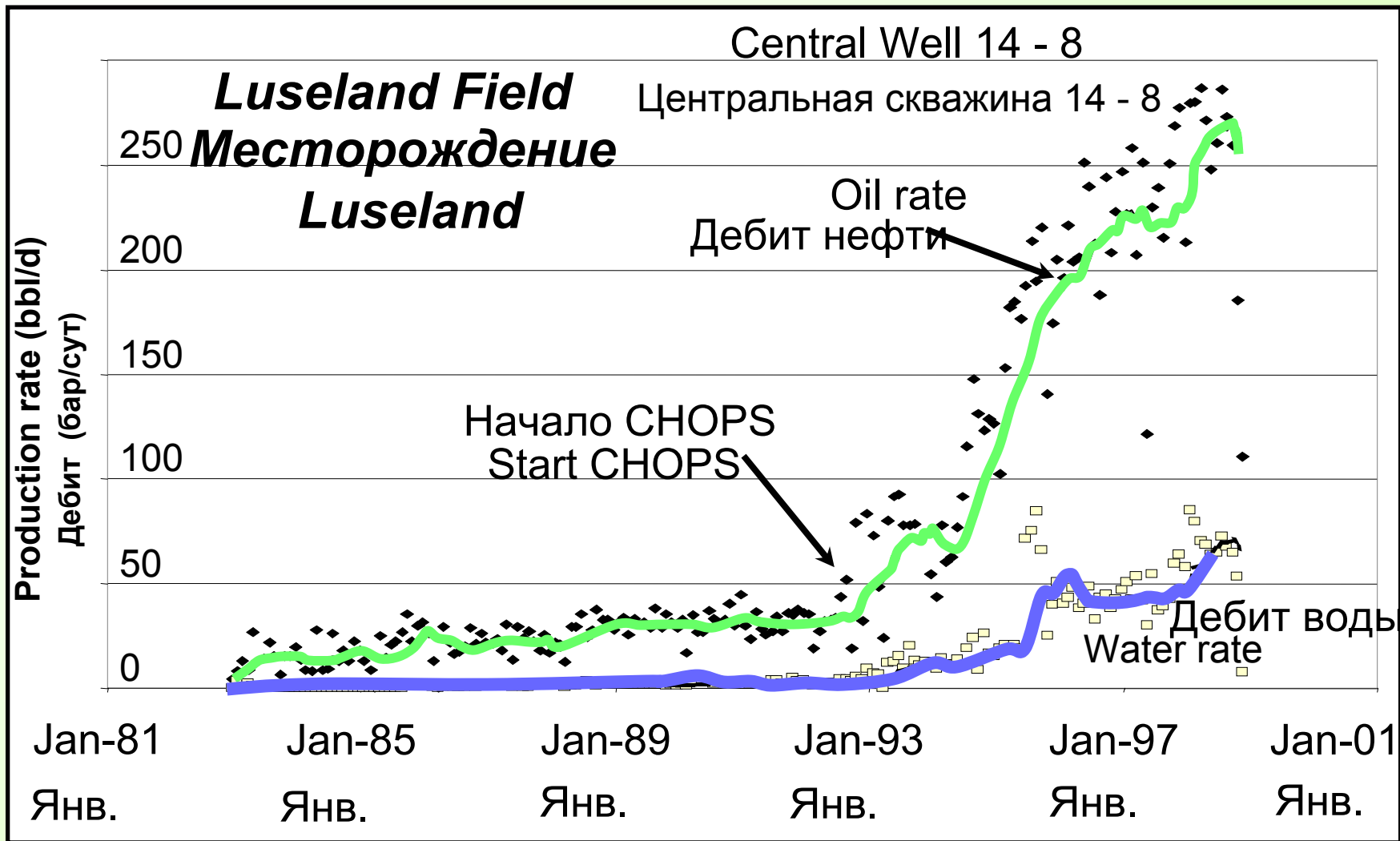
Экономический успех не подразумевает высокий R_F

Field Production History



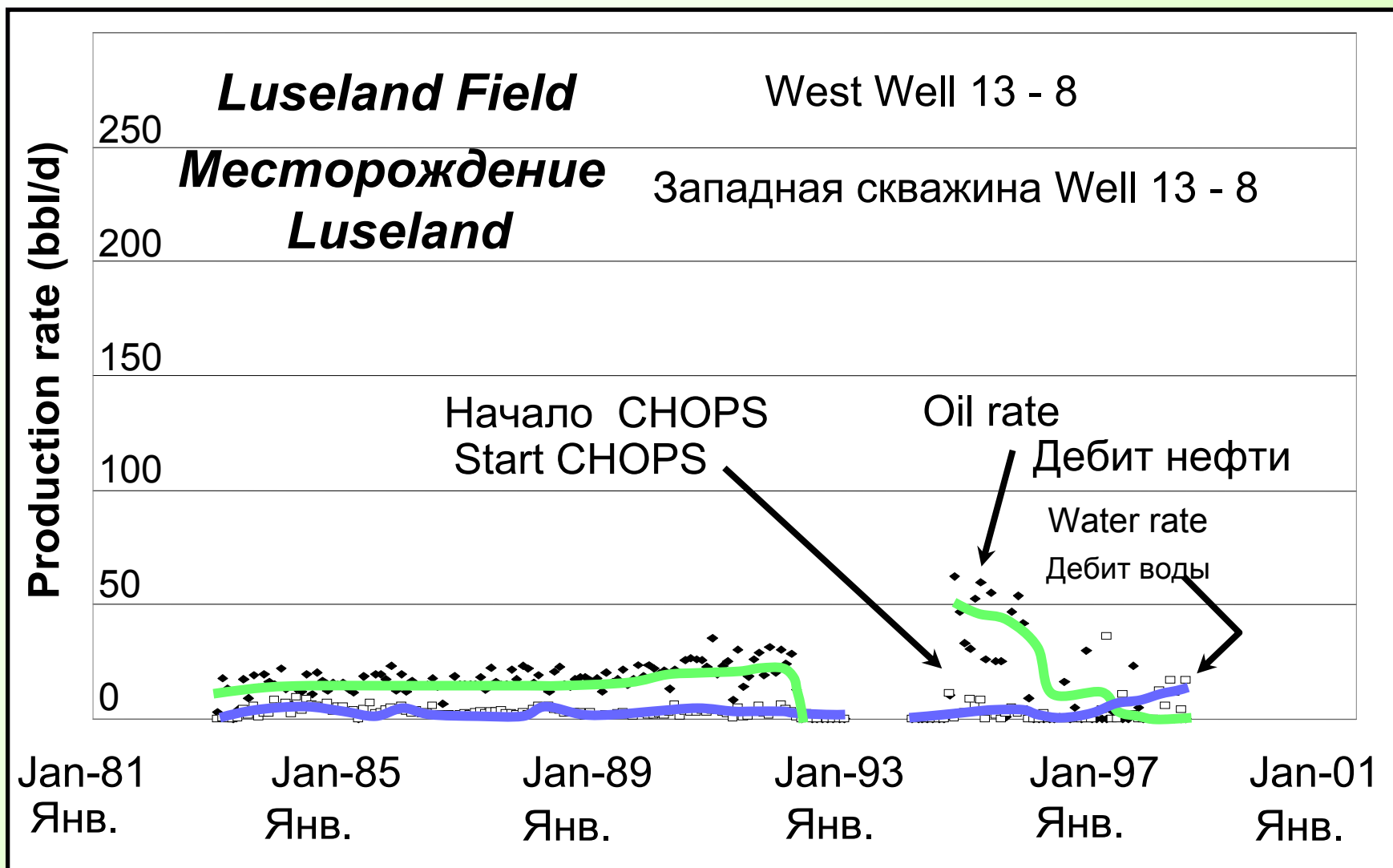
Well 14-8 Performance

Технологические
показатели скважины 14-8



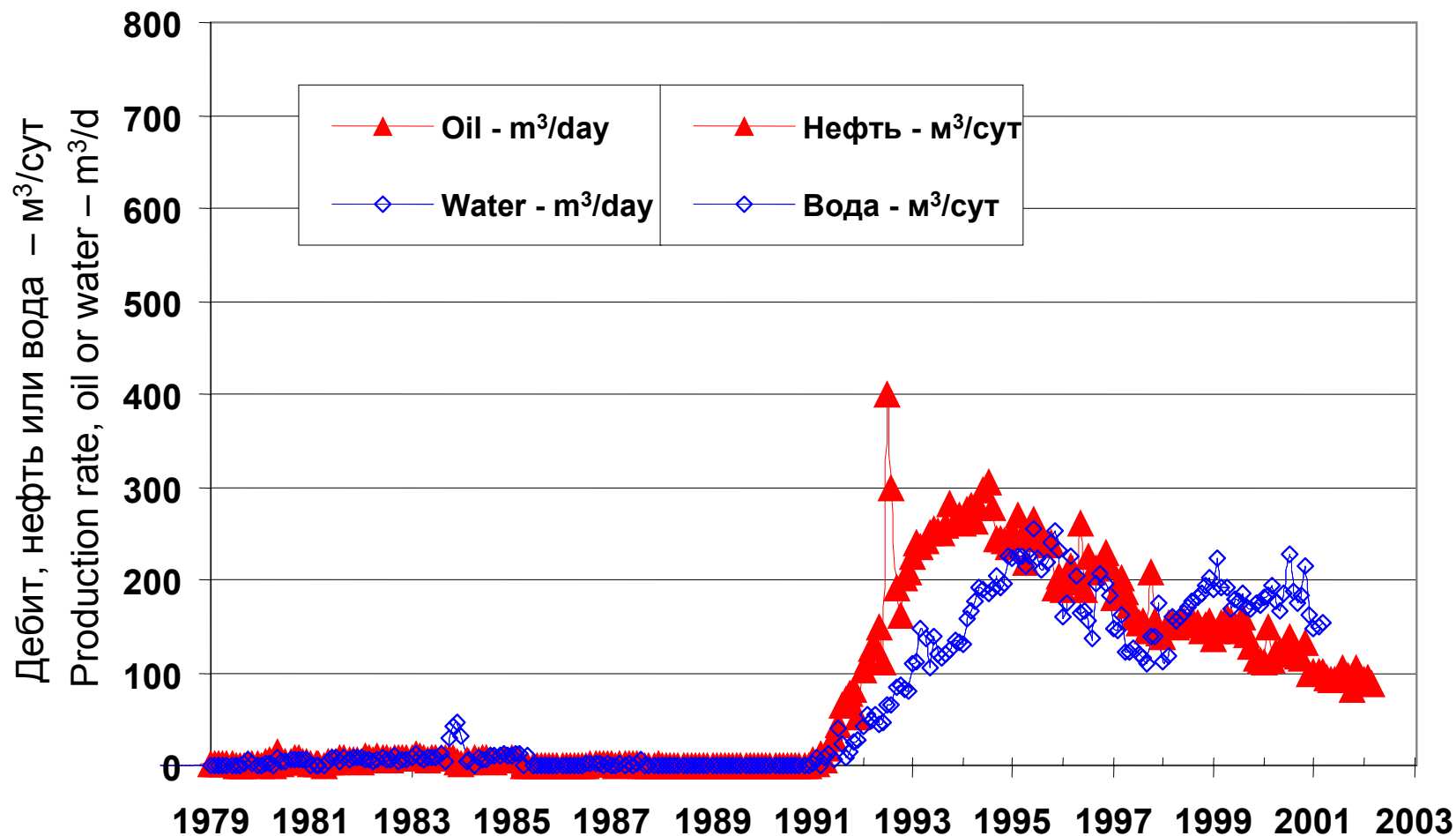
Well 13-8 Performance

Технологические
показатели
скважины 13-8



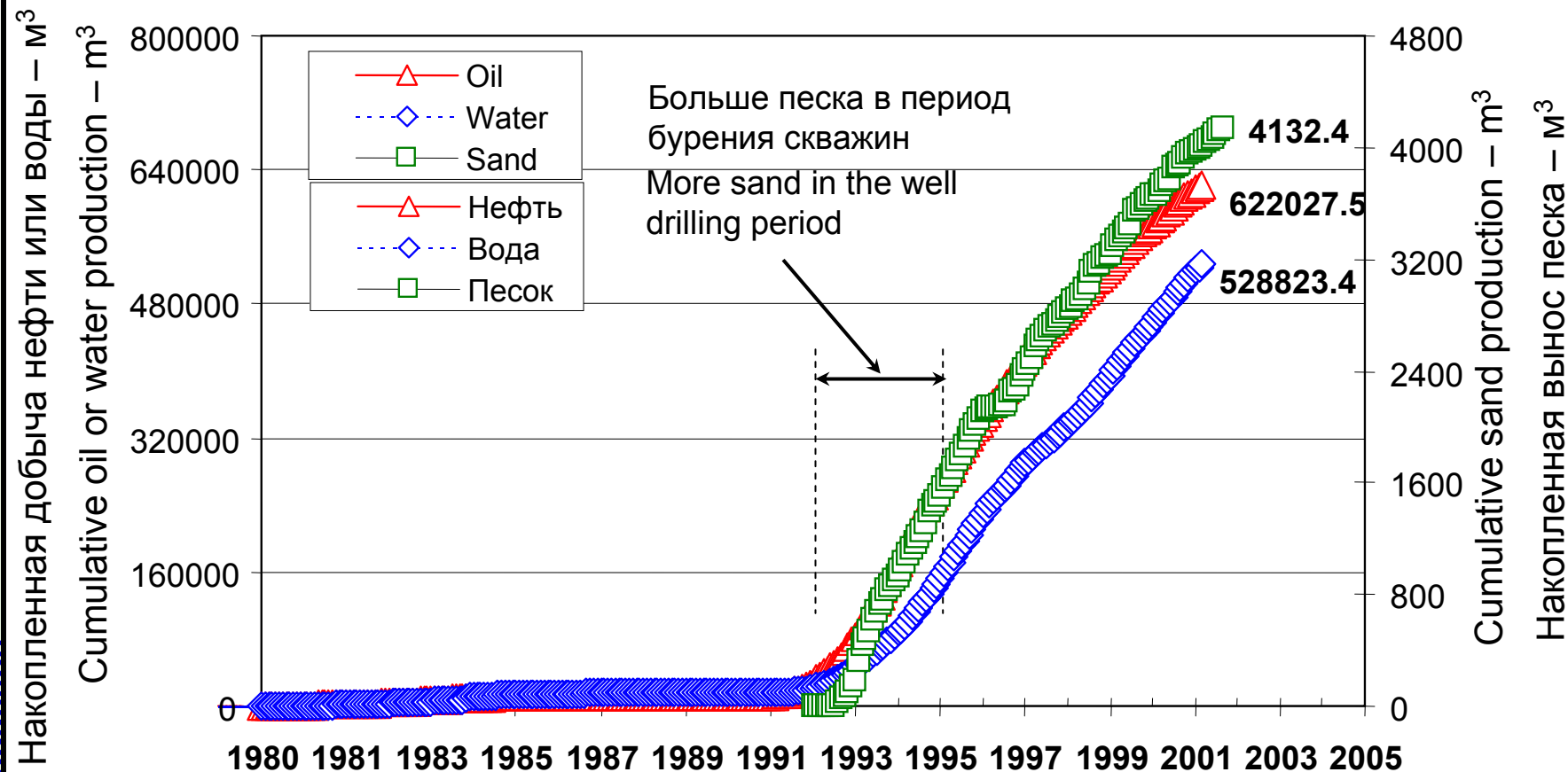
Edam Field - 31 Well Region

Месторождение Edam-
Область состоит из 31
скважины



Edam Field - Sand Production

Месторождение Edam - Вынос песка

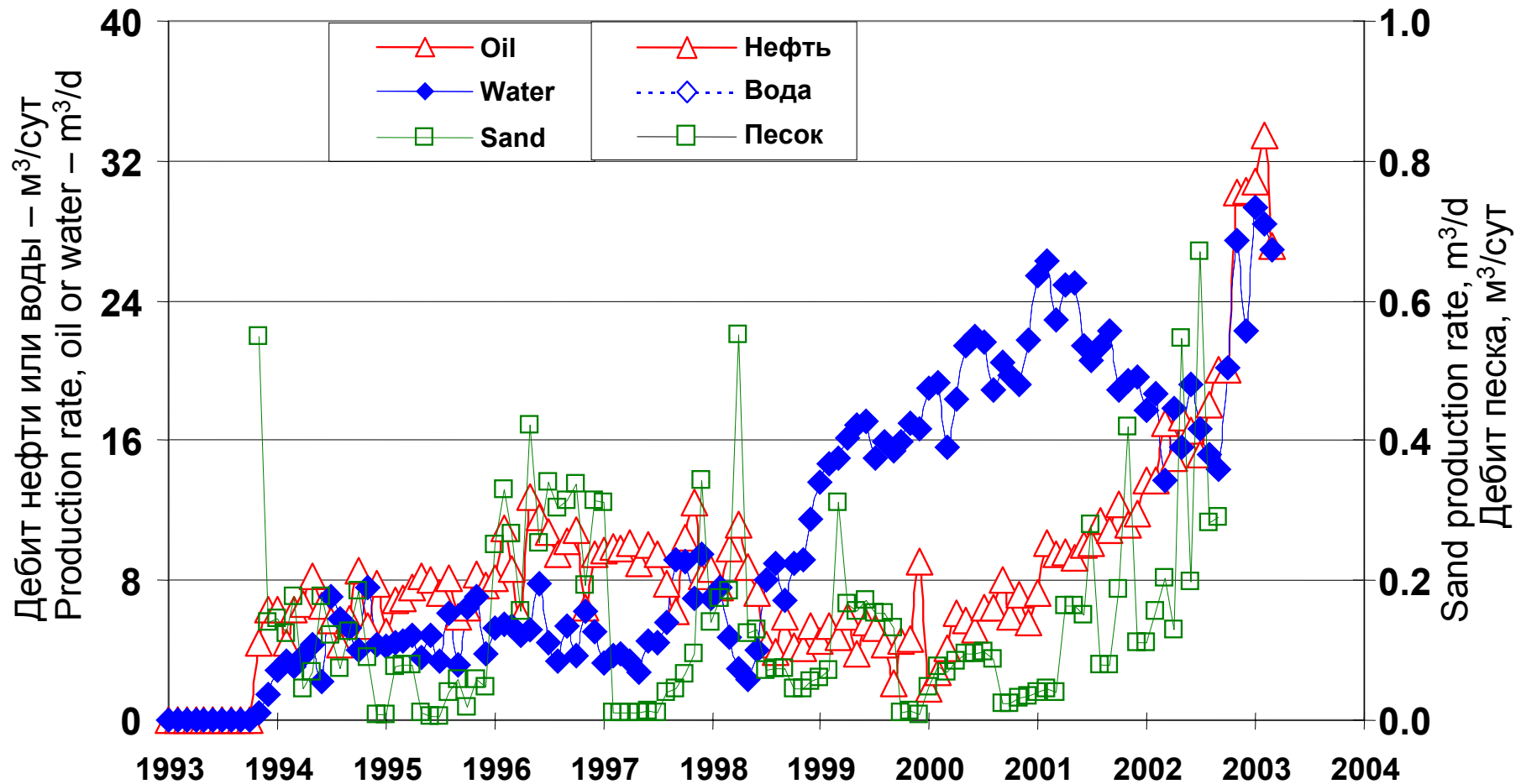


NOTE: Sand curve is from 13 wells only of the 31 wells included in the sample

Примечание: Кривая песка образуется только по 13 скважинам из 31, включенных в пример

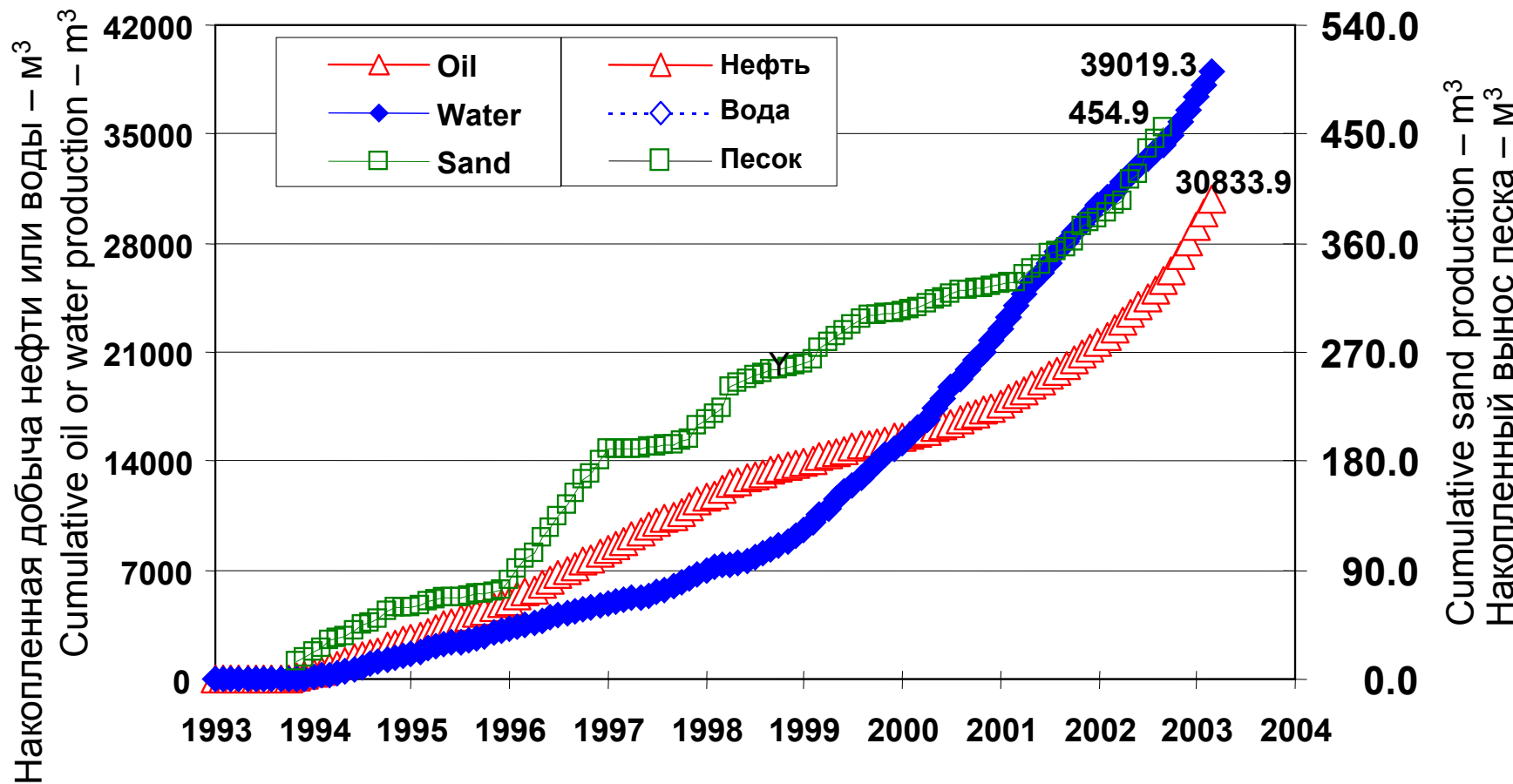
Edam Field - Well 16-30

Месторождение Edam - Скважина 16-30



Edam Field - Well 16-30

Месторождение Edam - Скважина 16-30



SCREENING CRITERIA

- ◆ Viscosity < 15,000 cP (down to any low μ)
- ◆ Depth 200 m to 1200 m
- ◆ Permeability as low as >0.5 D
- ◆ Thickness 3-20 m
- ◆ Cohesionless, gas in solution, no water leg

OPERATIONS

- ◆ OPEX (2007) is about \$8/b
- ◆ R_F expected is 10%-25% (average 15%)
- ◆ Sand costs are about \$2/b

КРИТЕРИИ ПРИМЕНИМОСТИ

- ◆ Вязкость < 15,000 сР (падает до низкой μ)
- ◆ Глубина от 200 м до 1200 м
- ◆ Проницаемость на уровне >0.5 D
- ◆ Толщина 3-20 м
- ◆ Несвязность, растворенный газ, отсутствие водяной части

ОПЕРАЦИИ

- ◆ Операционные расходы (2007) примерно \$8/б
- ◆ R_F планируемый 10%-25% (среднее 15%)
- ◆ Затраты на вынос песка примерно \$2/б

PCP - Progressing Cavity Pump

PCP - проходящий винтовой насос



Belt drive with torque control
*Ременной привод с
регулировкой крутящего момента*

Electric motor
(or hydraulic)
*Двигатель электрический
(или гидравлический)*

Well casing (usually 175 mm)
*Обсадные трубы
(обычно 175 мм)*

Production tubing
(usually 72 or 88 mm)
*Эксплуатационная НКТ
(обычно 72 или 88 мм)*

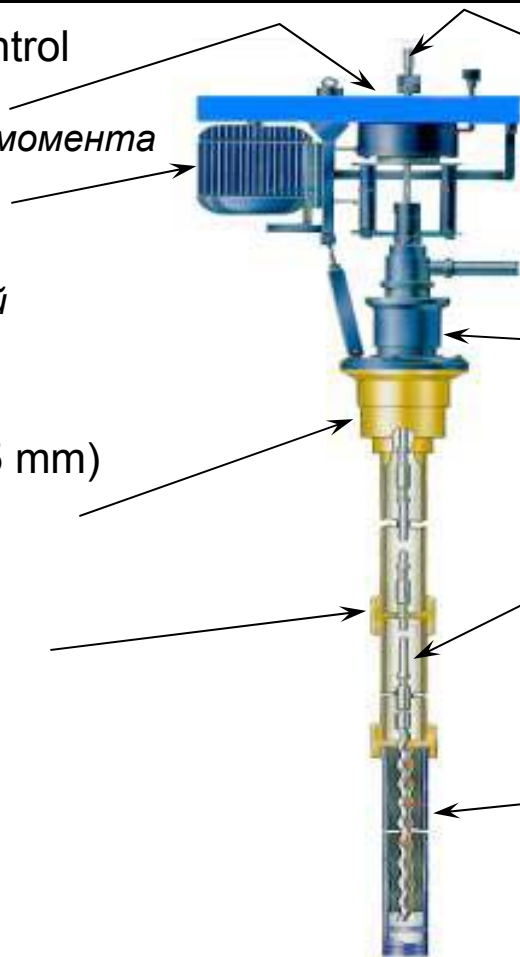
Polished rod
Полированный шток

Production flow line
Эксплуатационный трубопровод

Well-head assembly
Устьевой блок

Sucker or co-rod in
production tubing
*Всасывающие или со-насосные
штанги в эксплуатационной НКТ*

Chromed rotor in
fixed stator
*Хромированный ротор в
зафиксированном статоре*



A key element in CHOPS success

Ключевой элемент успешности CHOPS

Horizontal Well Technologies **CP - HCS - SAGD**

CP - Cold Production with horizontal wells
HCS - Horizontal Cyclic Steam stimulation
SAGD - Steam-Assisted Gravity Drainage

Технологии горизонтальных
скважин

CP - HCS - SAGD

CP - Метод холодной добычи с помощью горизонтальных скважин
HCS - Интенсификация потока флюидов с помощью
горизонтальной циклической закачки пара
SAGD - Гравитационное дренирование при закачке пара

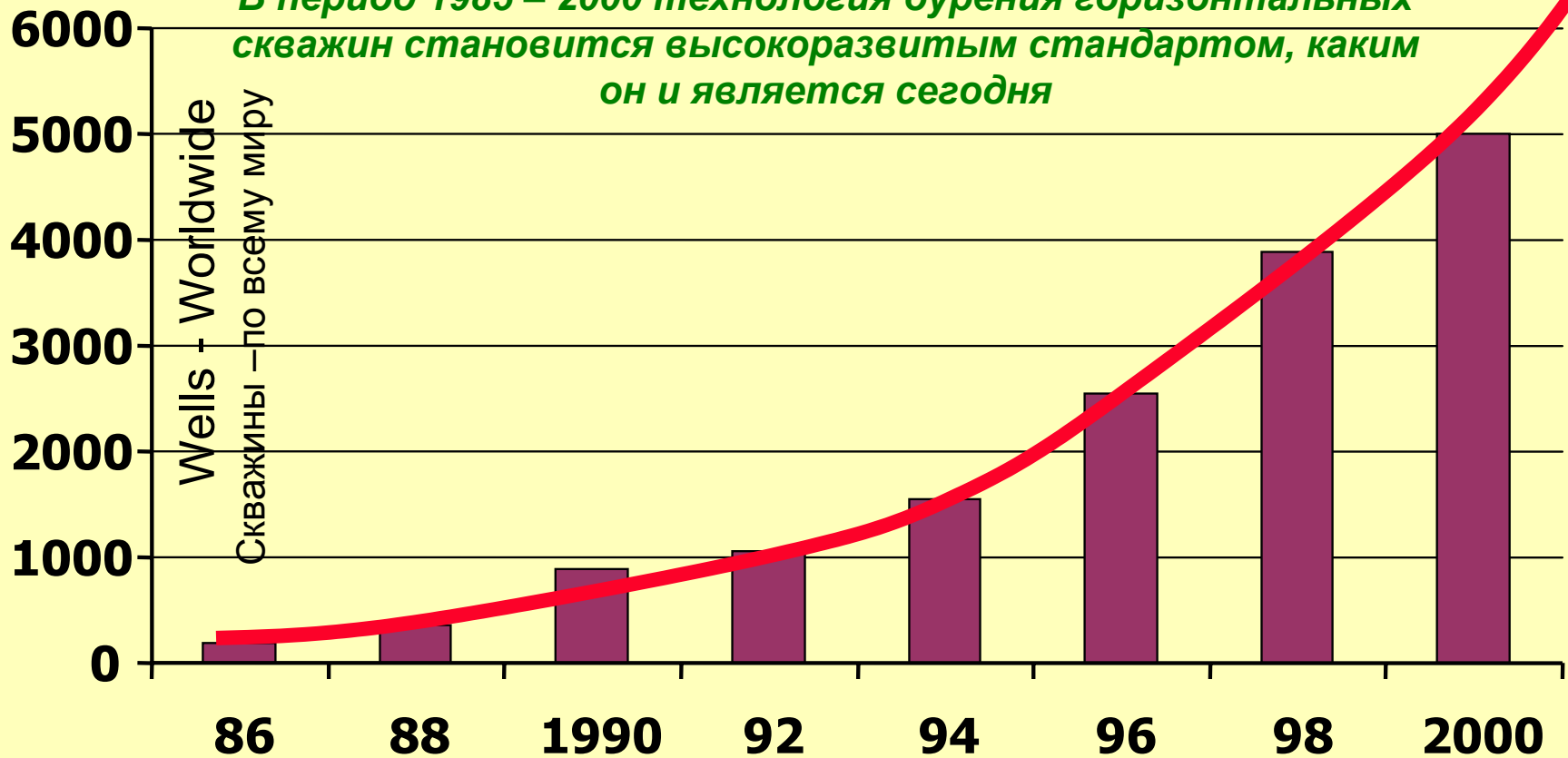
Horizontal Wells, Worldwide

Горизонтальные скважины, в мире



The period 1985 – 2000 saw horizontal well technology become the mature standard it is today

В период 1985 – 2000 технология бурения горизонтальных скважин становится высокоразвитым стандартом, каким он и является сегодня



Материалы любезно предоставлены
Джорджем Стосуром

Courtesy of
George Stosur

Horizontal Wells (Cold)

Горизонтальные скважины (холодный метод)



- ◆ Horizontal wells are now commonplace...
- ◆ With applications in various technologies
 - ➔ Direct cold oil production
 - ➔ Thermal processes (SAGD, steam drive, ...)
 - ➔ Horizontal well cyclic steam (Shell Peace River, CNR Wolf Lake)
 - ➔ WAG, various IOR configurations
- ◆ But, the biggest factor ultimately may be the advent of **gravity segregation**
- ◆ Also, *in situ* combustion may be "reborn", based on horizontal well configurations...

- ◆ Горизонтальные скважины в настоящее время являются обычным явлением...
- ◆ Используются при различных технологиях
 - ➔ Метод прямой холодной добычи нефти
 - ➔ Термические технологии (SAGD, режим вытеснения нефти паром, ...)
 - ➔ Циклическая закачка пара в горизонтальных скважинах (Shell Peace River, CNR Wolf Lake)
 - ➔ ВДВ, различные МУН конфигурации
- ◆ Но самым значительным фактором в конечном счете может быть введение **гравитационного разделения**
- ◆ Горение в пластовых условиях также может "возродиться", основываясь на конфигурациях горизонтальных скважин ...

Multi-Laterals in Venezuela

Многоствольные скважины в Венесуэле



- ◆ Economic with 1500 m long wells, many with daughter laterals (3000-6000 m total L)
- ◆ Wells placed in the highest k zones only
- ◆ Production to 2000-2500 b/d
- ◆ Solution gas drive mechanism
- ◆ Solvent injection at toe helps
- ◆ Low operating costs, no sand, no steam

BUT!! - must be a great reservoir

- ◆ R_F likely to be 11-13% only
- ◆ Not suitable for 50% of the zones in the Orinoco... (free water, poorer reservoirs)

- ◆ Экономичные скважины, длиной 1500 м, множество дочерних стволов (3000-6000 м - общая длина (L))
- ◆ Скважины размещаются только в зонах с самым высоким k
- ◆ Добыча достигает 2000-2500 б/сут
- ◆ Механизм режима растворенного газа
- ◆ Помогает закачка растворителя в области подошвы
- ◆ Низкие операционные расходы, без песка, без пара

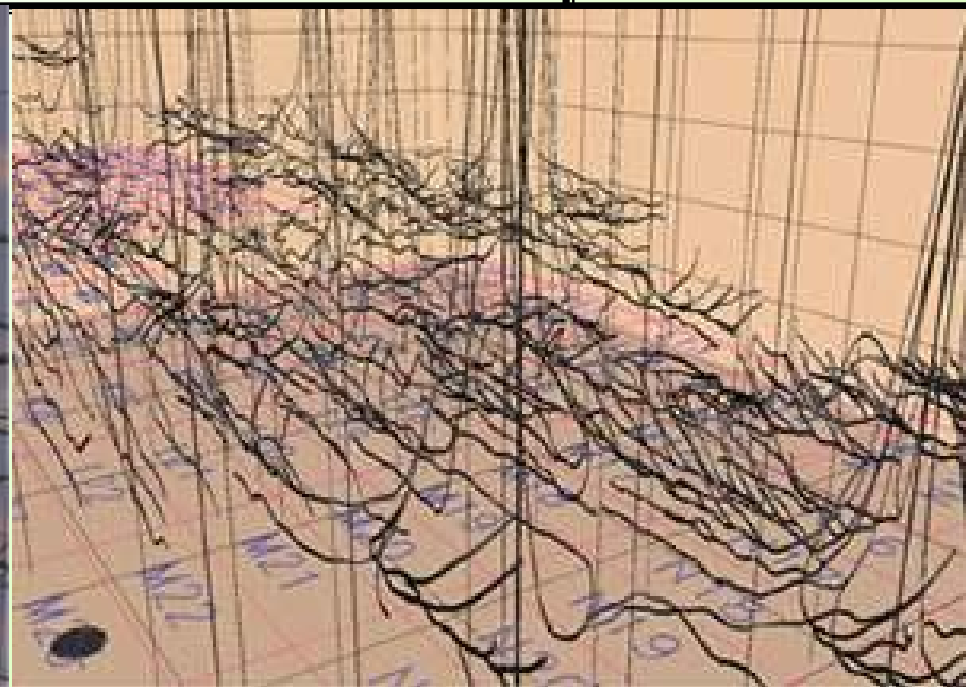
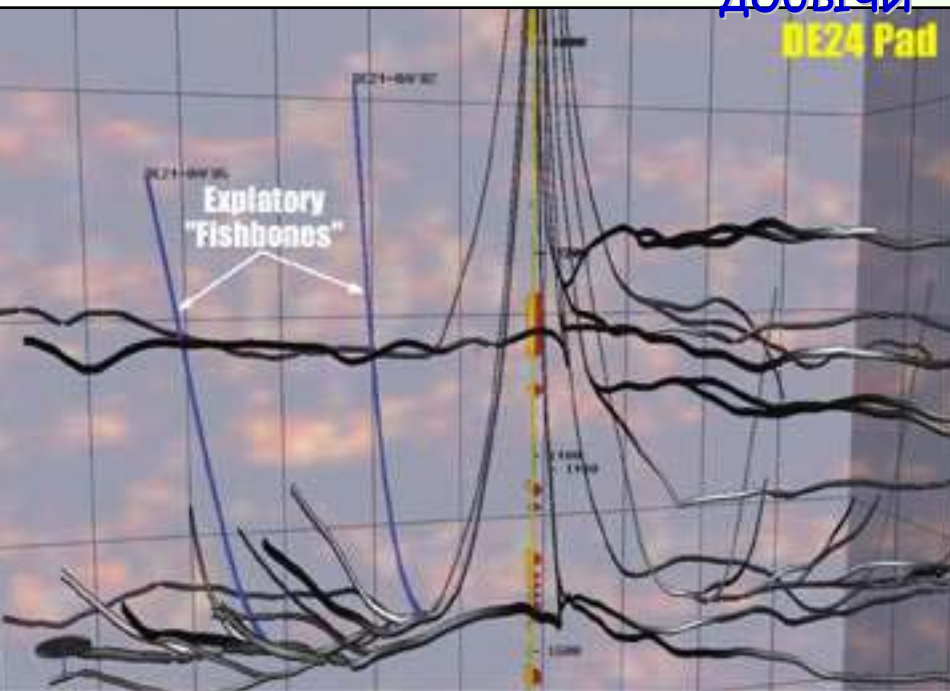
НО!! - должно быть огромный коллектор

- ◆ R_F вероятно только 11-13%
- ◆ Не пригоден для 50% зон в районе реки Ориноко... (свободная вода, более скудные пласты)

$k > 2-3 D$
 $\mu < 5000 \text{ cP}$

CP Horizontals in Venezuela

Горизонтальные скважины
Венесуэлы, на которых
используется метод холодной
добычи



CP Wells in Venezuela



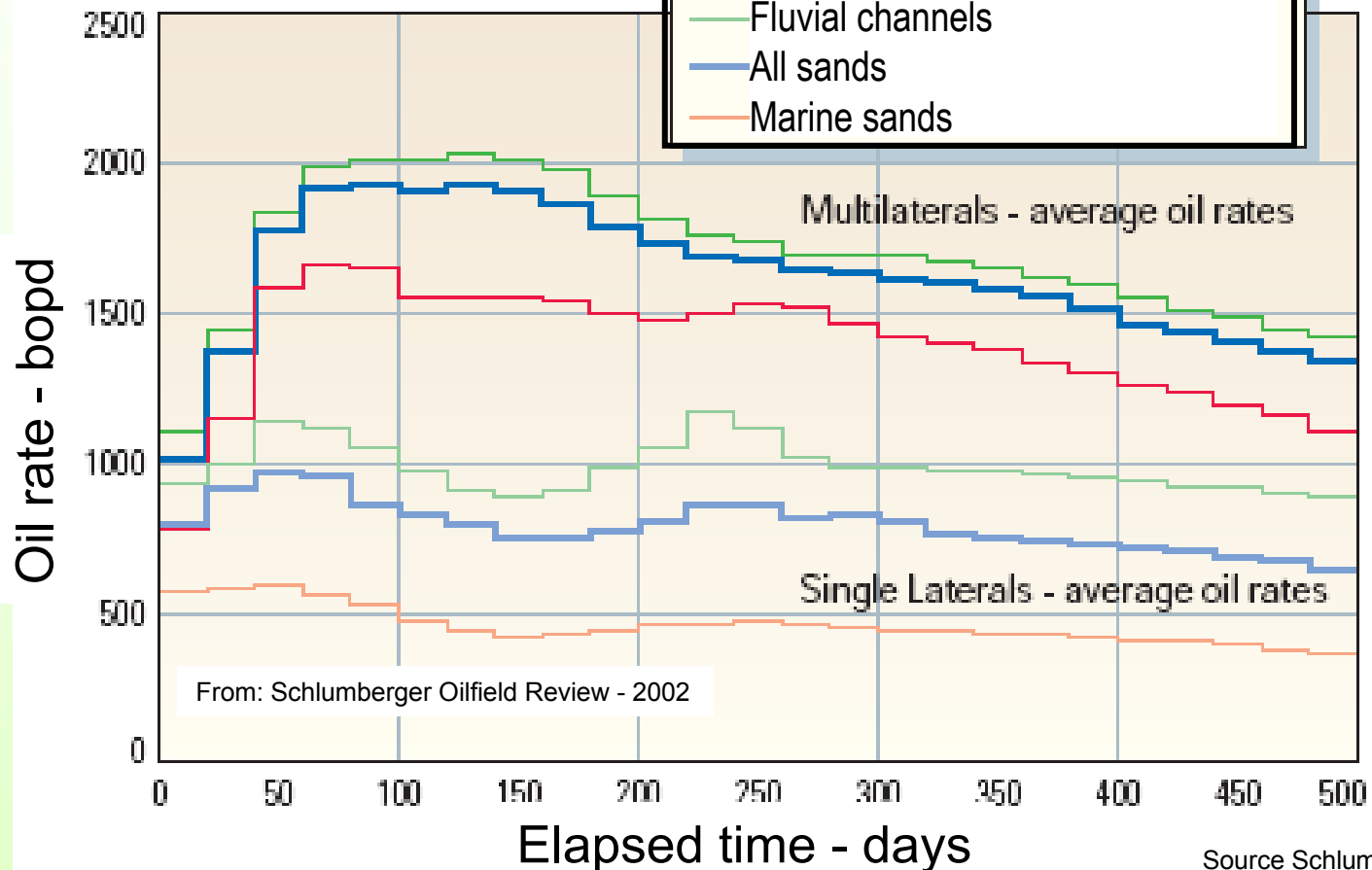
Solution gas drive
Life – 12-16 years
 $R_F \sim 12-15\%$

Multilaterals

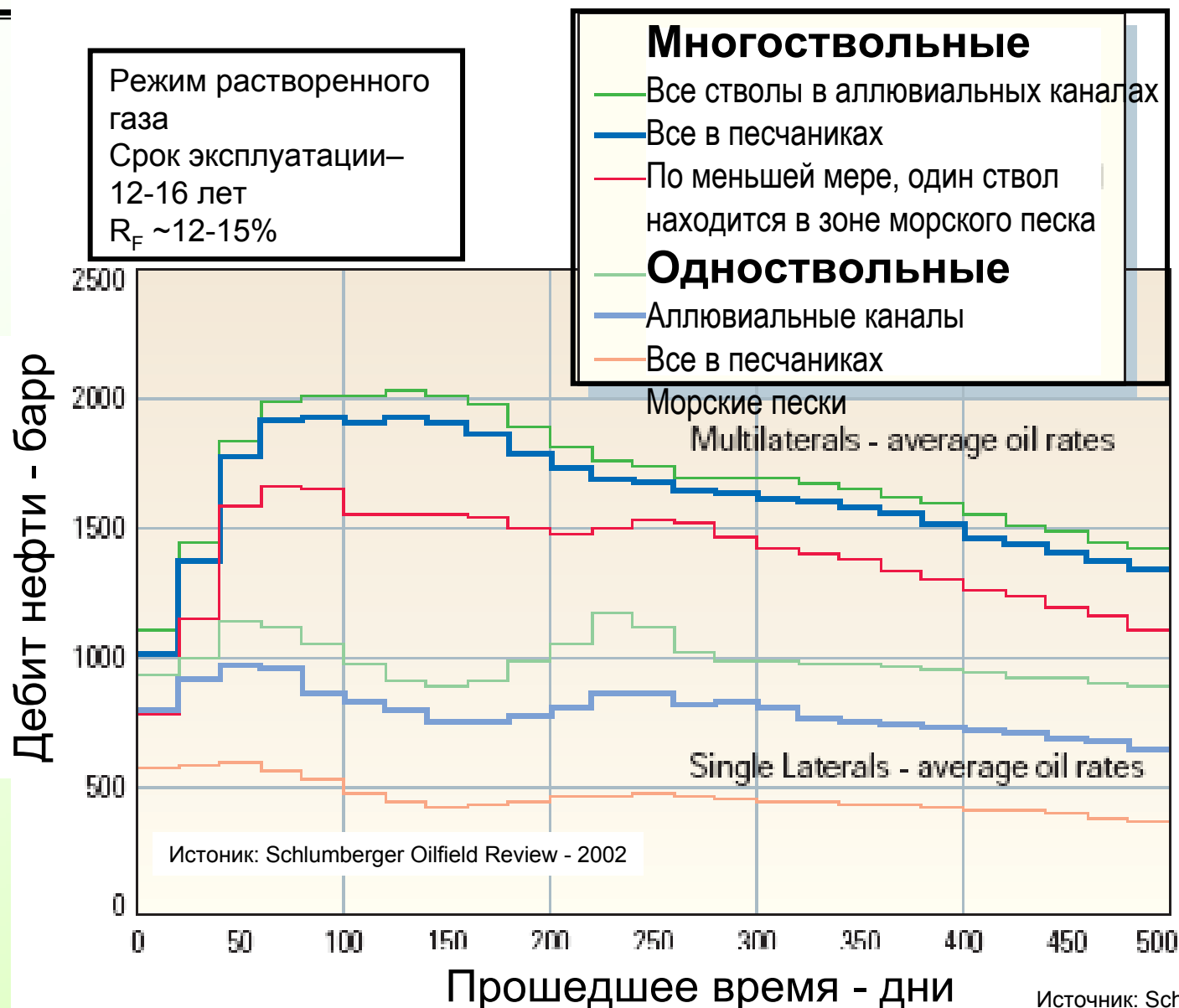
- All laterals in fluvial channels
- All sands
- At least one lateral in a marine sand

Single Laterals

- Fluvial channels
- All sands
- Marine sands

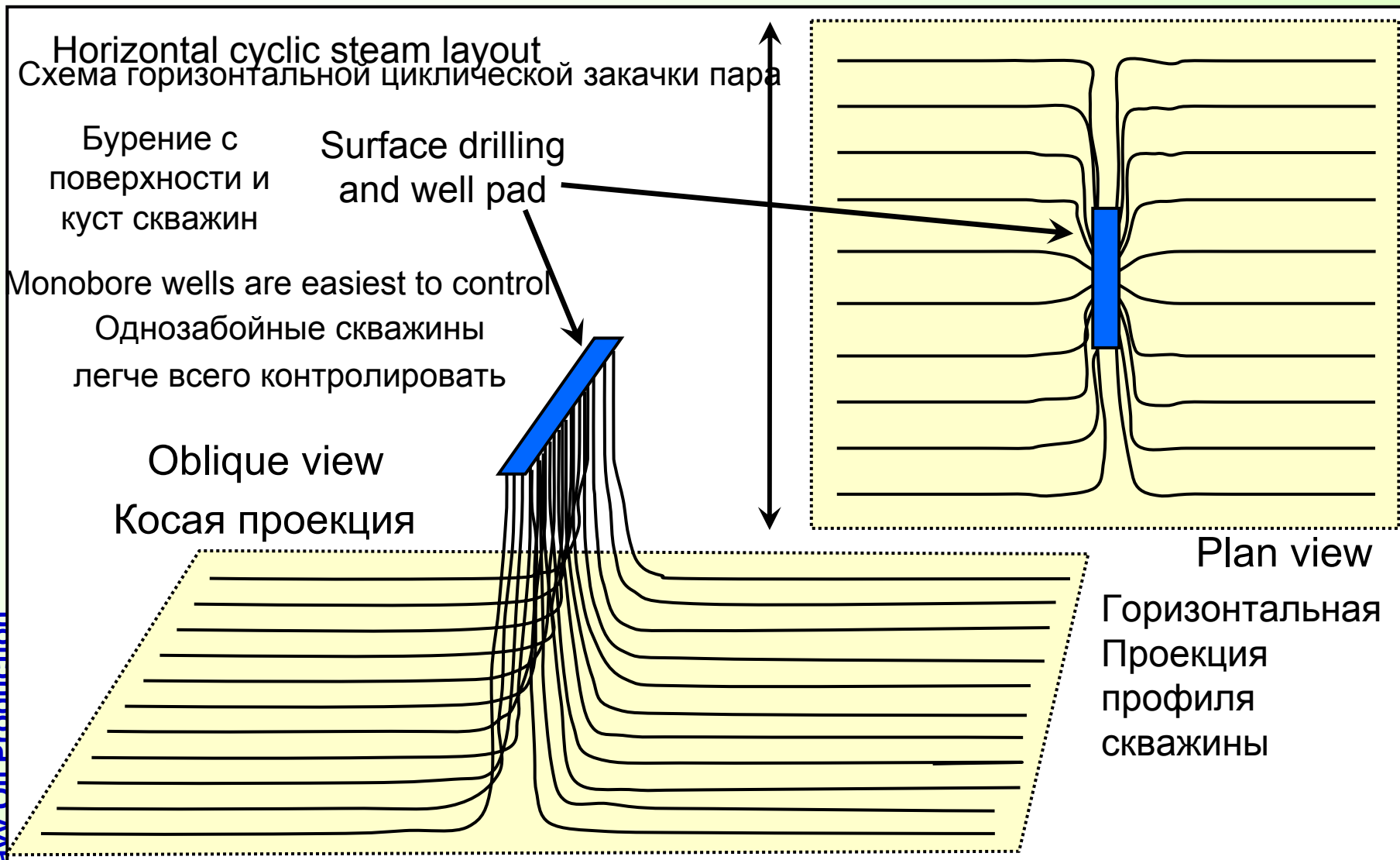


Скважины с холодной добычей нефти в Венесуэле



Horizontal Well Cyclic Steam

Циклическая закачка пара в
горизонтальной скважине



One HCS Cycle

Один цикл HCS

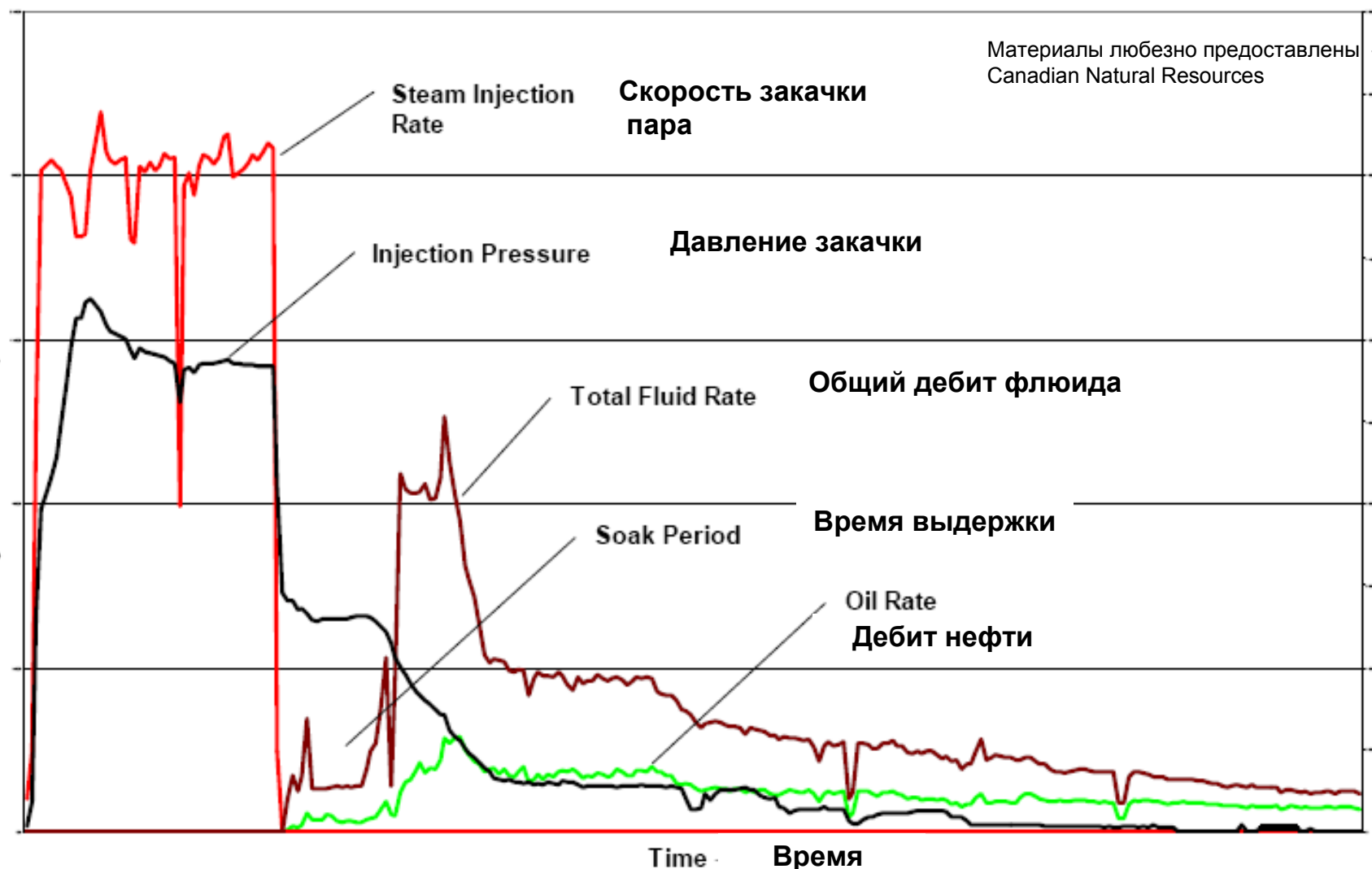


Idealized Cycle
Идеальный цикл

Courtesy – Canadian Natural Resources

Материалы любезно предоставлены
Canadian Natural Resources

Heavy Oil Production
Давление закачки, Дебит
Injection Pressure, Rate →



Cumulative Oil vs. Steam - HCS

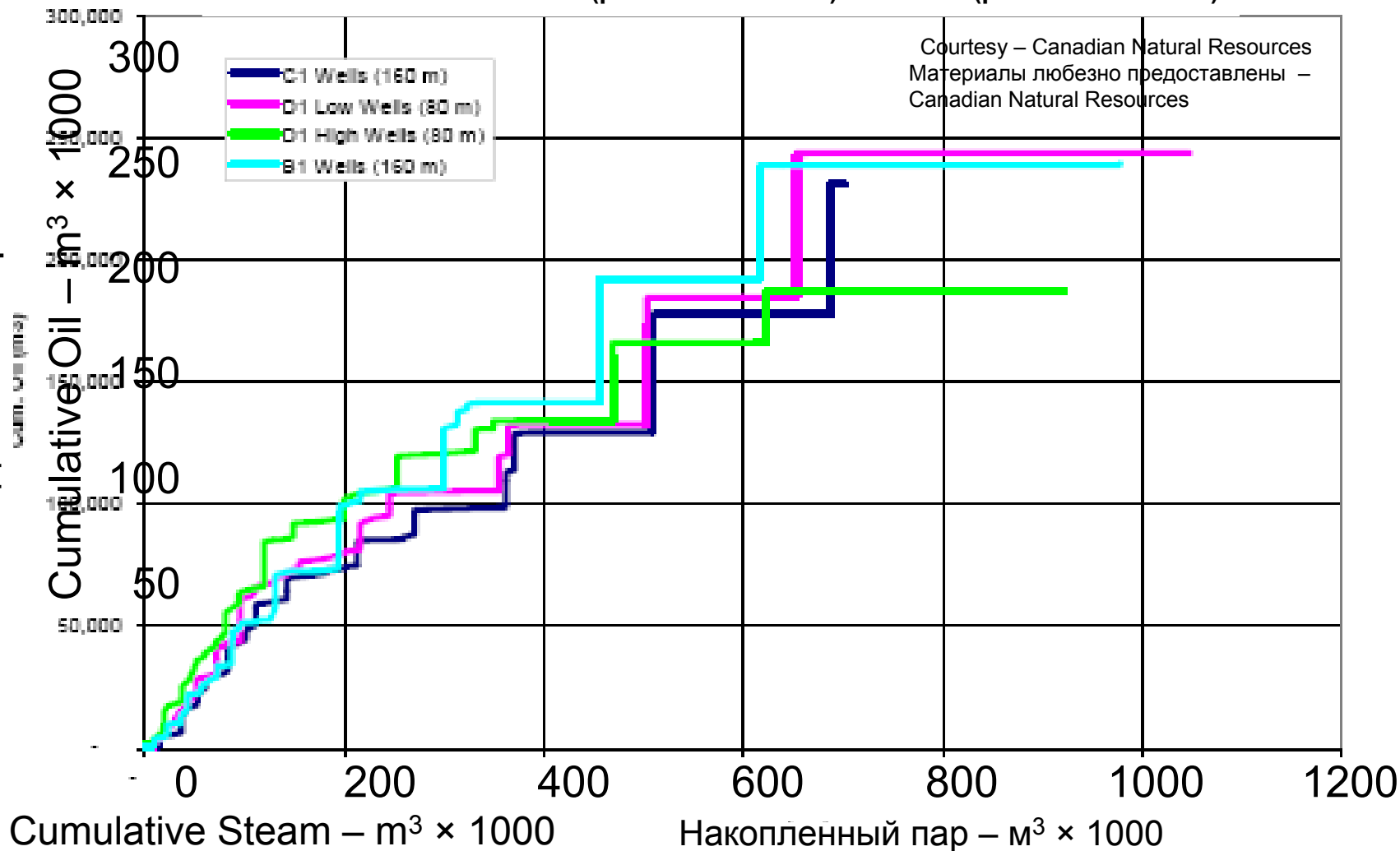
Накопленная
добыча нефти и
закачка пара - HCS



Comparison of D1 (80 m spacing) with C1 and B1 (160 m Spacing) Wells

Сопоставление скважин D1 (расстояние - 80 м) с C1 и B1 (расстояние 160 м)

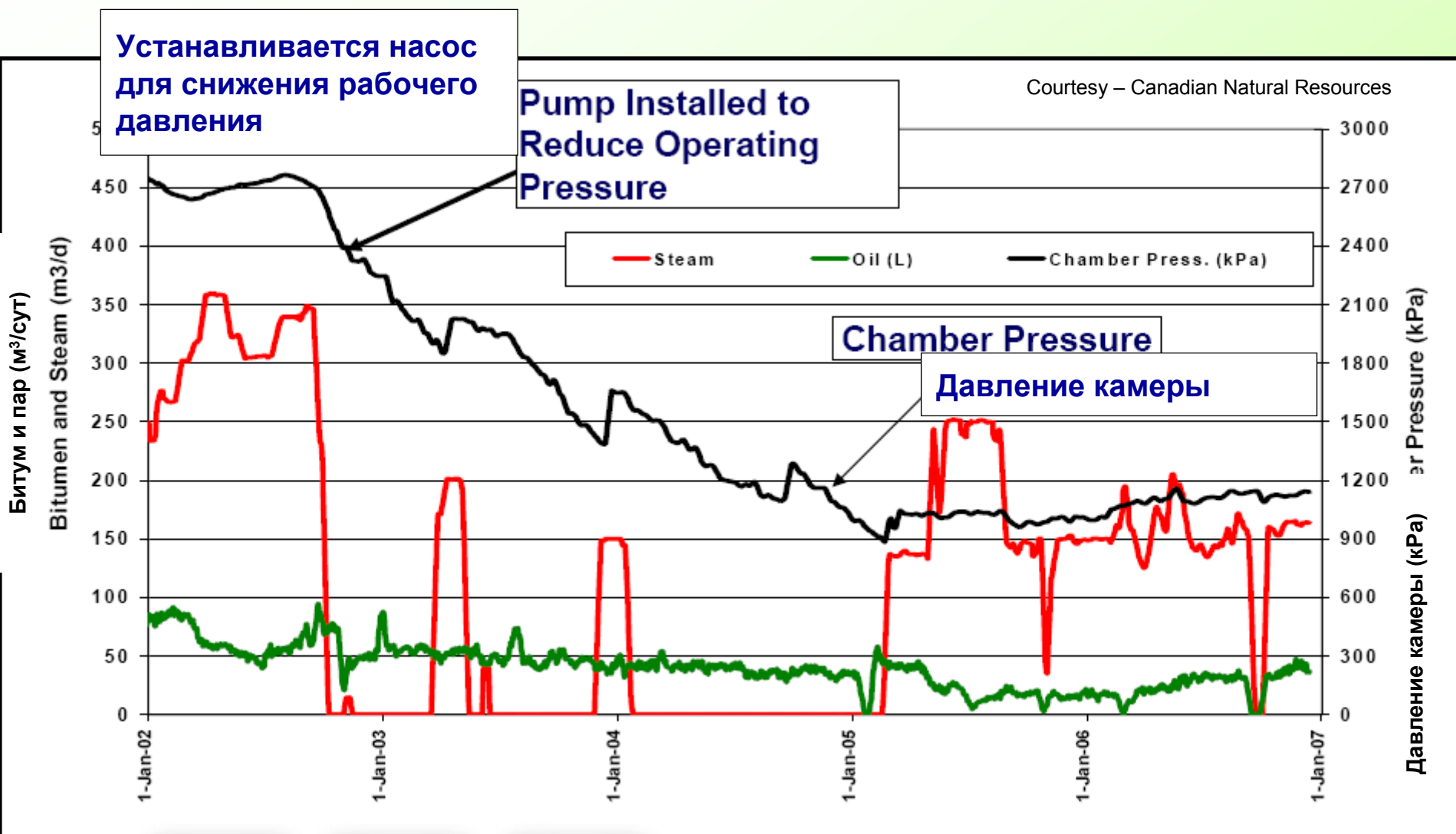
Накопленная добыча нефти - $\text{м}^3 \times 1000$



Накопленный пар - $\text{м}^3 \times 1000$

HCS - Conversion to SAGD

HCS - конверсия в SAGD



Steam- and Vapor-Assisted Gravity Drainage Processes in Oil

Технологии гравитационного
дренирования при закачке пара при добыче
нефти

SAGD Schematic

Схема SAGD



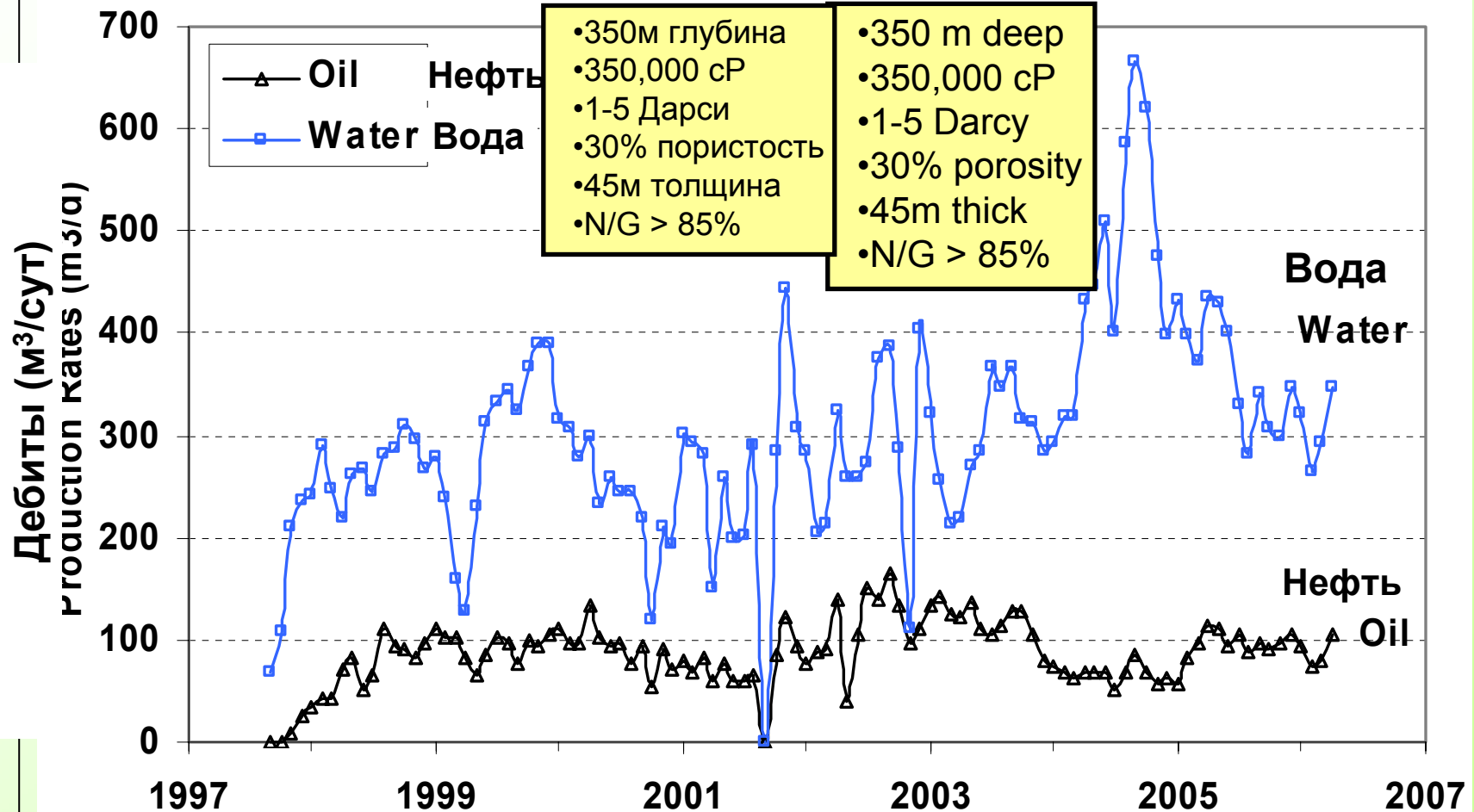
Surmont SAGD Pilot

Пилотный проект SAGD на месторождении Сурмонт



Дебиты (Проект Сурмонт, 4 скважины)

Production Rates (Surmont Project, 4 Wells)

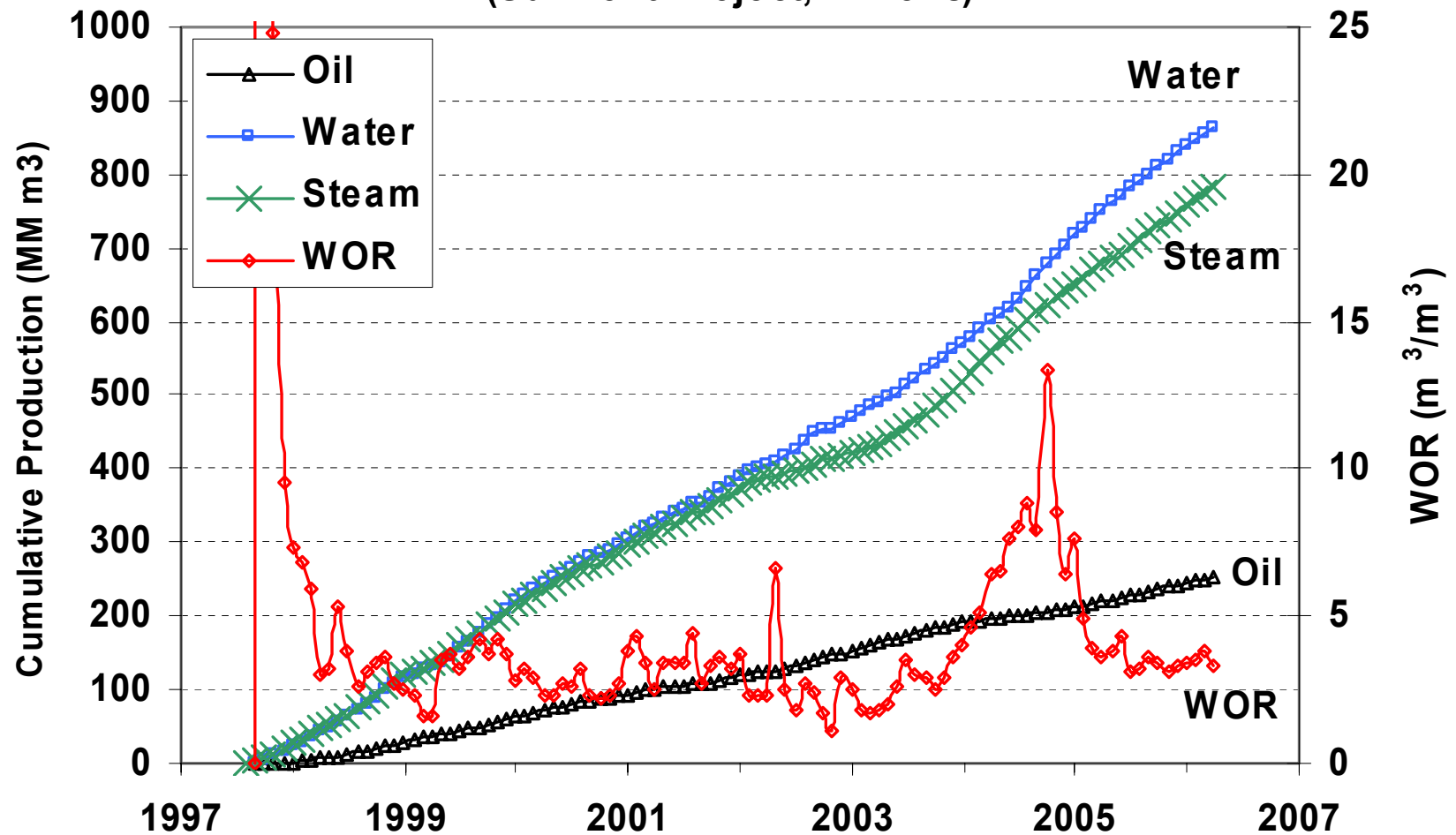


Surmont SAGD Pilot

Пилотный проект SAGD
на месторождении
Сурмонт



Cumulative Production & Injection
(Surmont Project, 4 Wells)

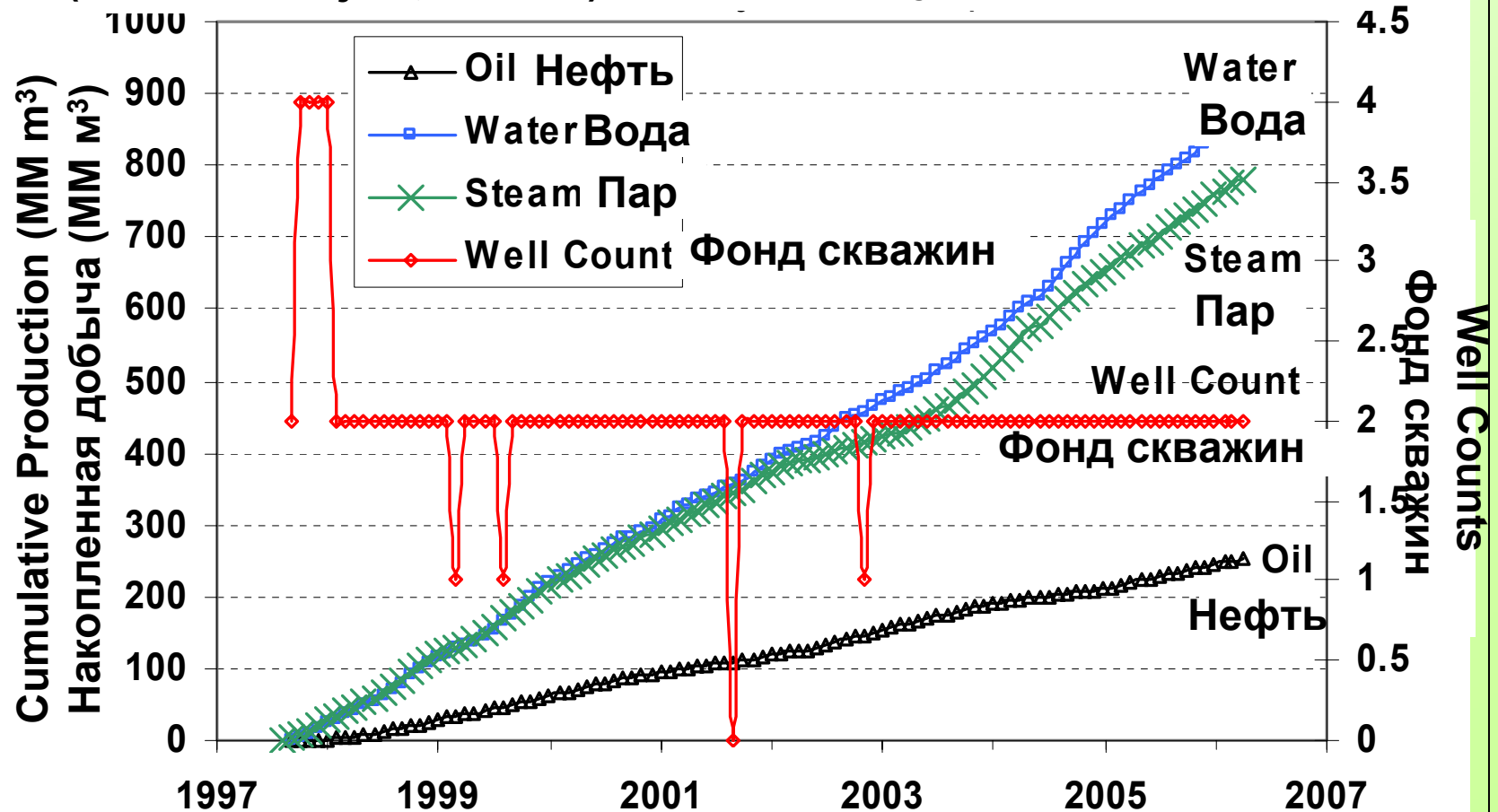


Well Count

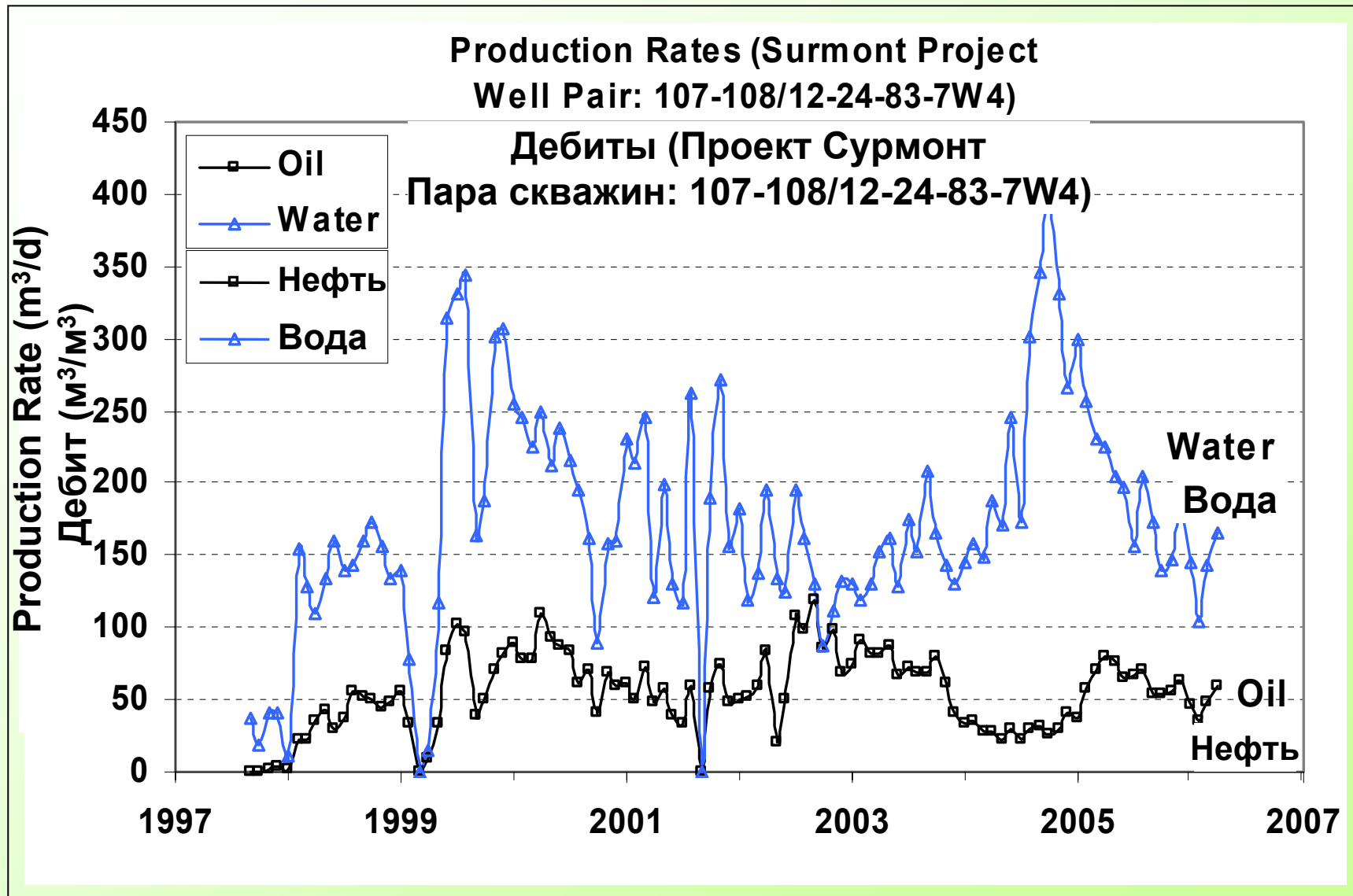
Фонд скважин



Cumulative production & Injection Накопленная добыча и закачка
(Surmont Project, 4 Wells) (Проект Сурмонт, 4 скважины)

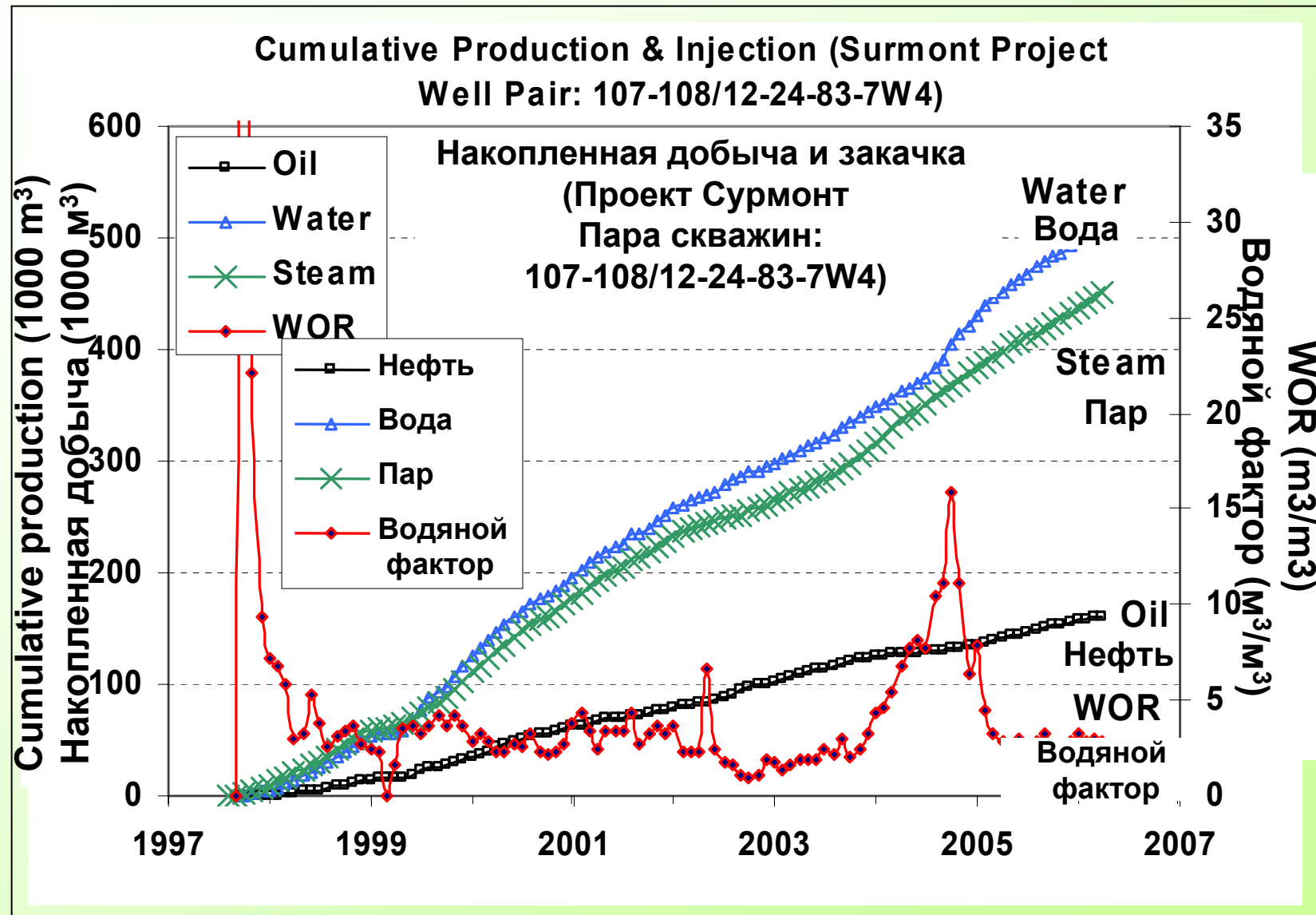


SAGD Well Pair Поведение скважинной пары при SAGD Behavior



SAGD Well Pair Behavior

Поведение скважинной пары при SAGD



Husky Energy Pike's Peak

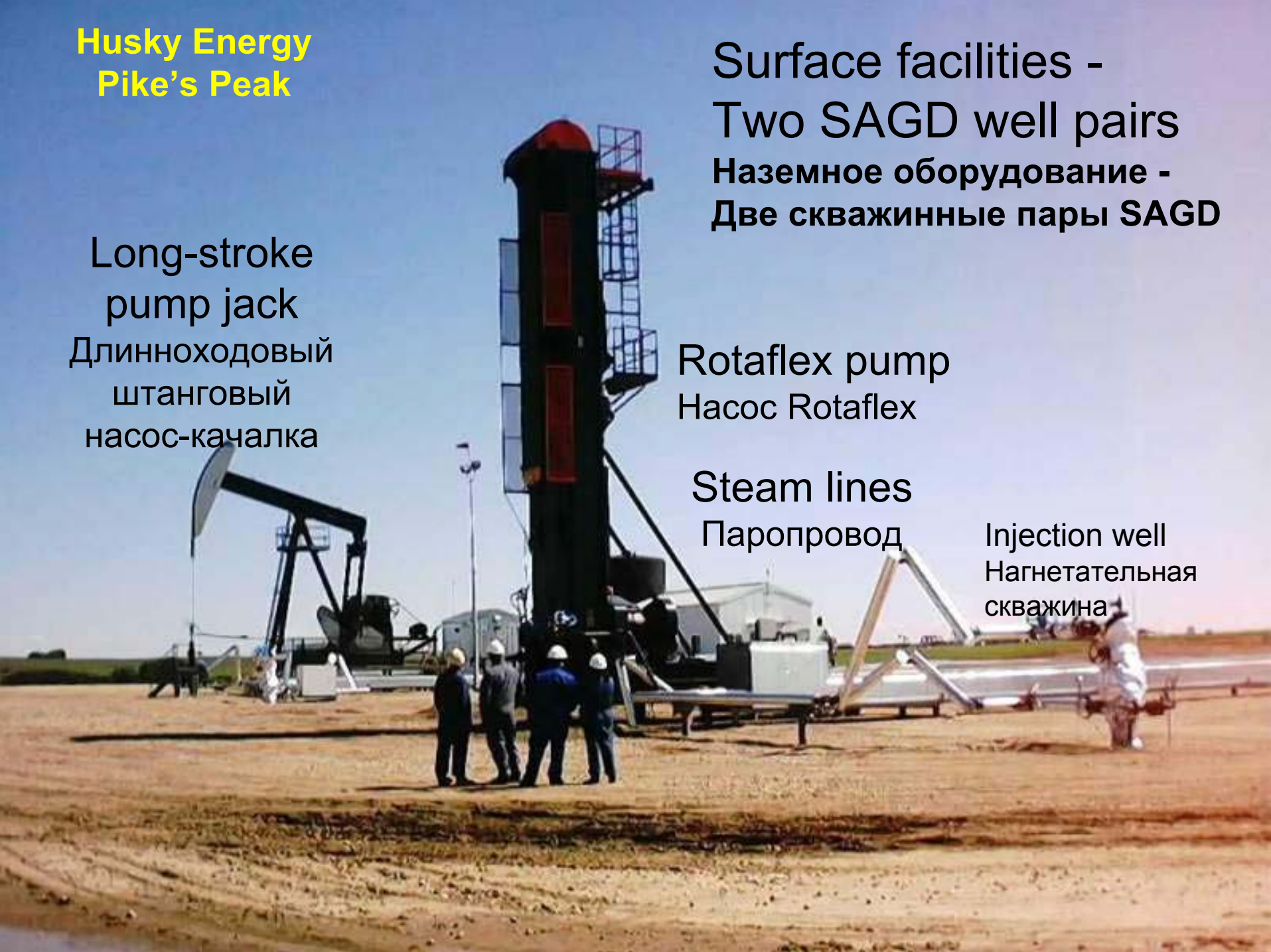
Surface facilities -
Two SAGD well pairs
Наземное оборудование -
Две скважинные пары SAGD

Long-stroke
pump jack
Длинноходовый
штанговый
насос-качалка

Rotaflex pump
Насос Rotaflex

Steam lines
Паропровод

Injection well
Нагнетательная
скважина

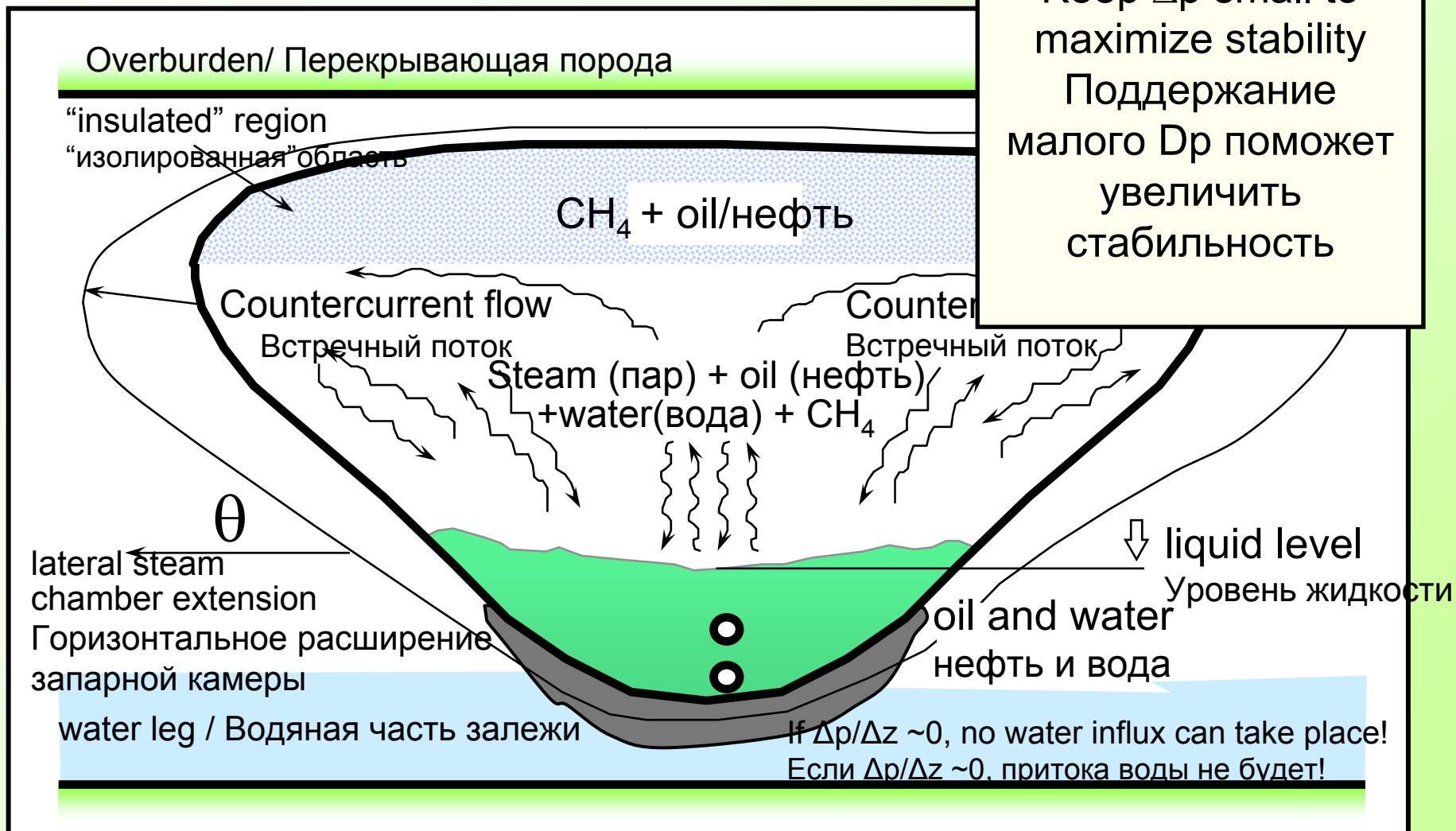


SAGD Physics with a Water Leg

Физика SAGD в водяной части залежи



Keep Δp small to
maximize stability
Поддержание
малого Δp поможет
увеличить
стабильность



SAGD - Screening Criteria

SAGD - критерии применимости



SCREENING CRITERIA

- ◆ Viscosity > 10,000 cP(? - perhaps much less)
- ◆ Depth 200 m to 1200 m
- ◆ Permeability as low as >1 D
- ◆ Thickness > 12-15 m (\$/b and formation dip)
- ◆ Porosity > 25%

OPERATIONS

- ◆ SOR 2.0 - 3.0
- ◆ OPEX (2007) is about 20 \$/b (CH₄ fuel)
- ◆ R_F expected is 65%-75%

КРИТЕРИИ ПРИМЕНИМОСТИ

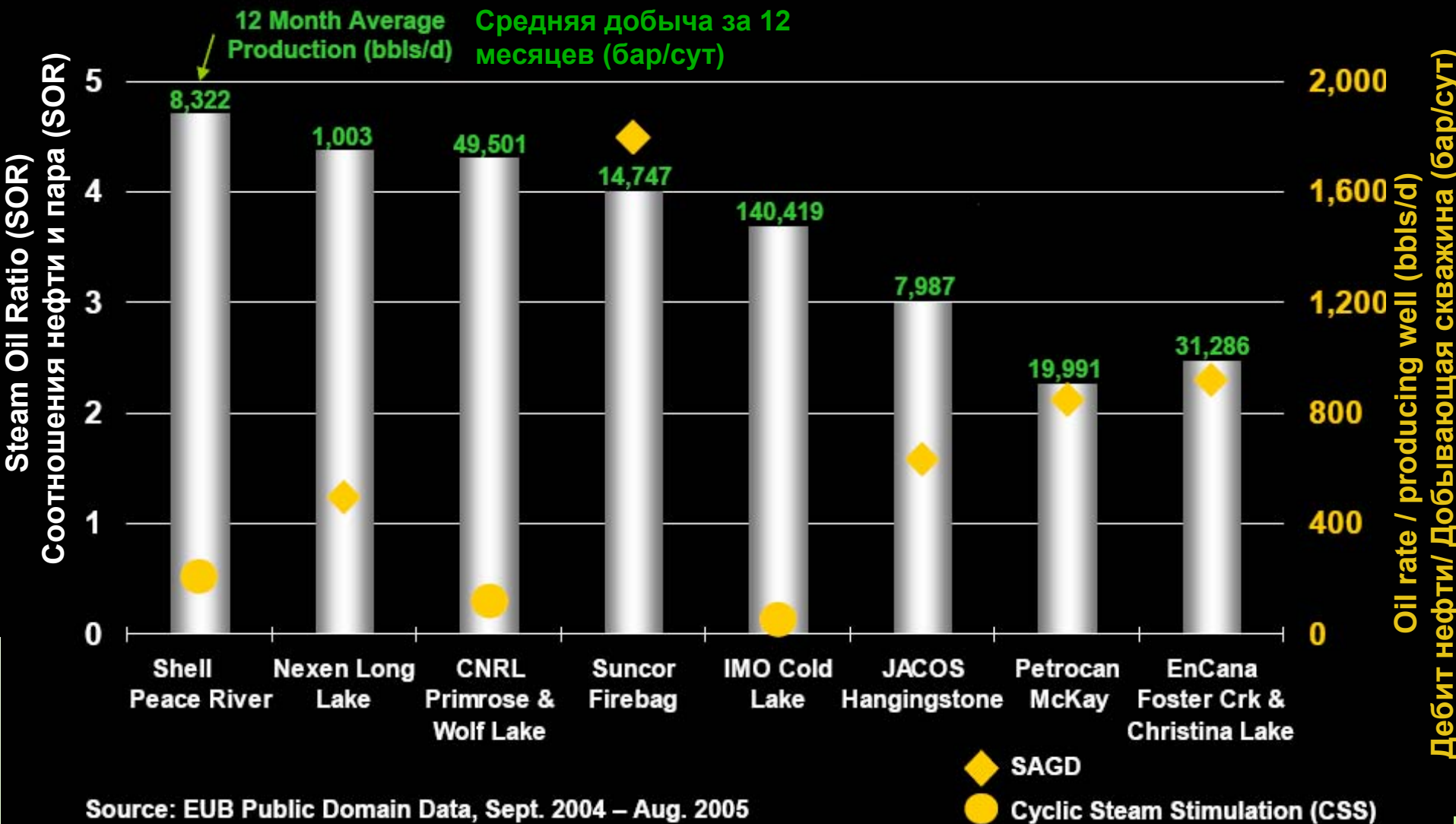
- ◆ Вязкость > 10,000 cP(? - возможно гораздо ниже)
- ◆ Глубина от 200 м до 1200 м
- ◆ Проницаемость на уровне >1 D
- ◆ Толщина > 12-15 м (\$/б и угол падения пласта)
- ◆ Пористость > 25%

ОПЕРАЦИИ

- ◆ SOR 2.0 - 3.0
- ◆ Операционные расходы (2007) составили примерно 20 \$/б (CH₄ топливо)
- ◆ R_F планируемый - 65%-75%

Steam-Oil Ratios

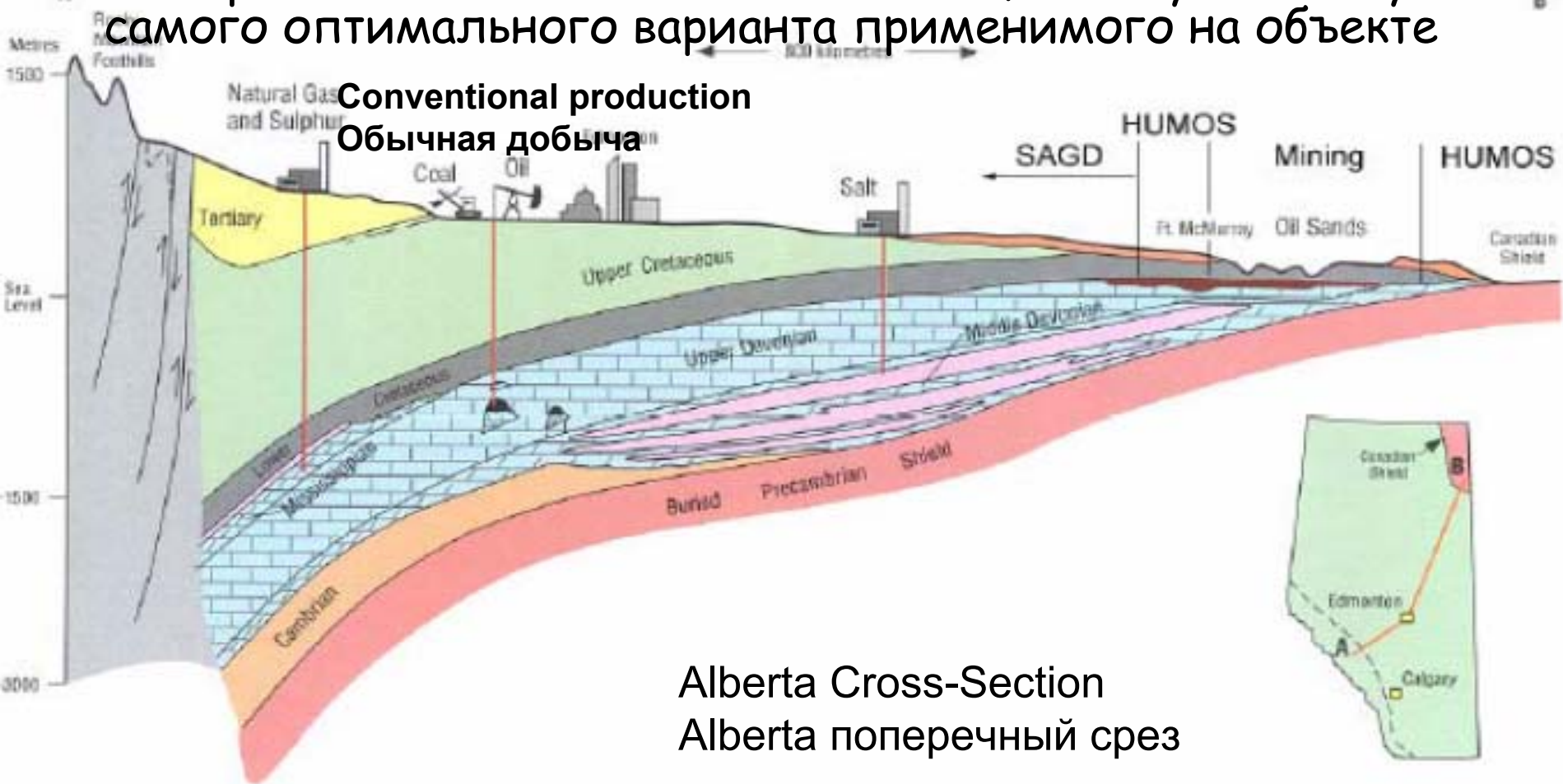
Соотношения нефти и пара



Different Areas, Различные области Different Methods различные методы

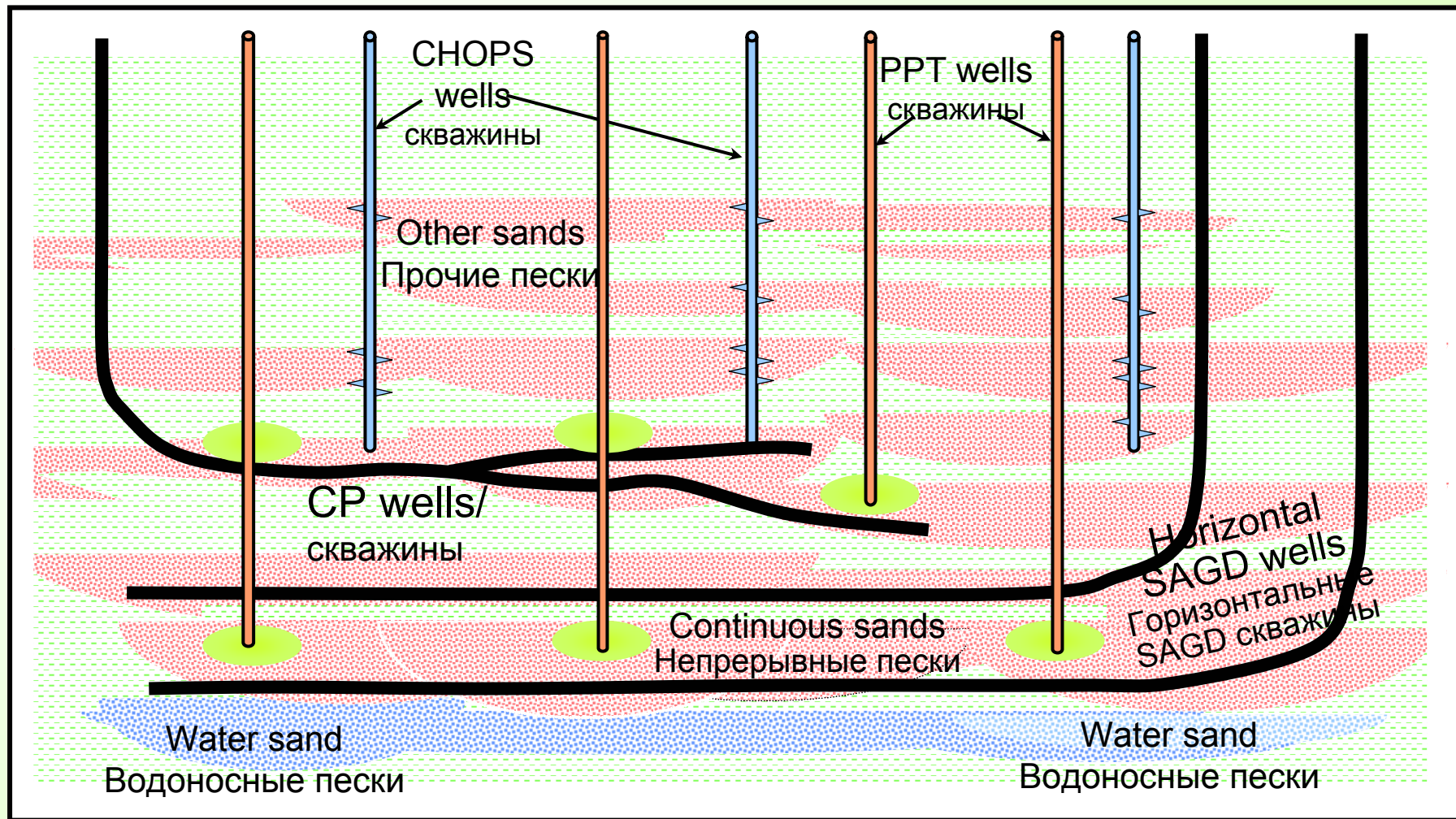


- ◆ Screening of technologies involves careful assessment of the best option for the asset
- ◆ Выбор технологии включает в себя тщательную оценку самого оптимального варианта примененного на объекте



Mixed Development Array

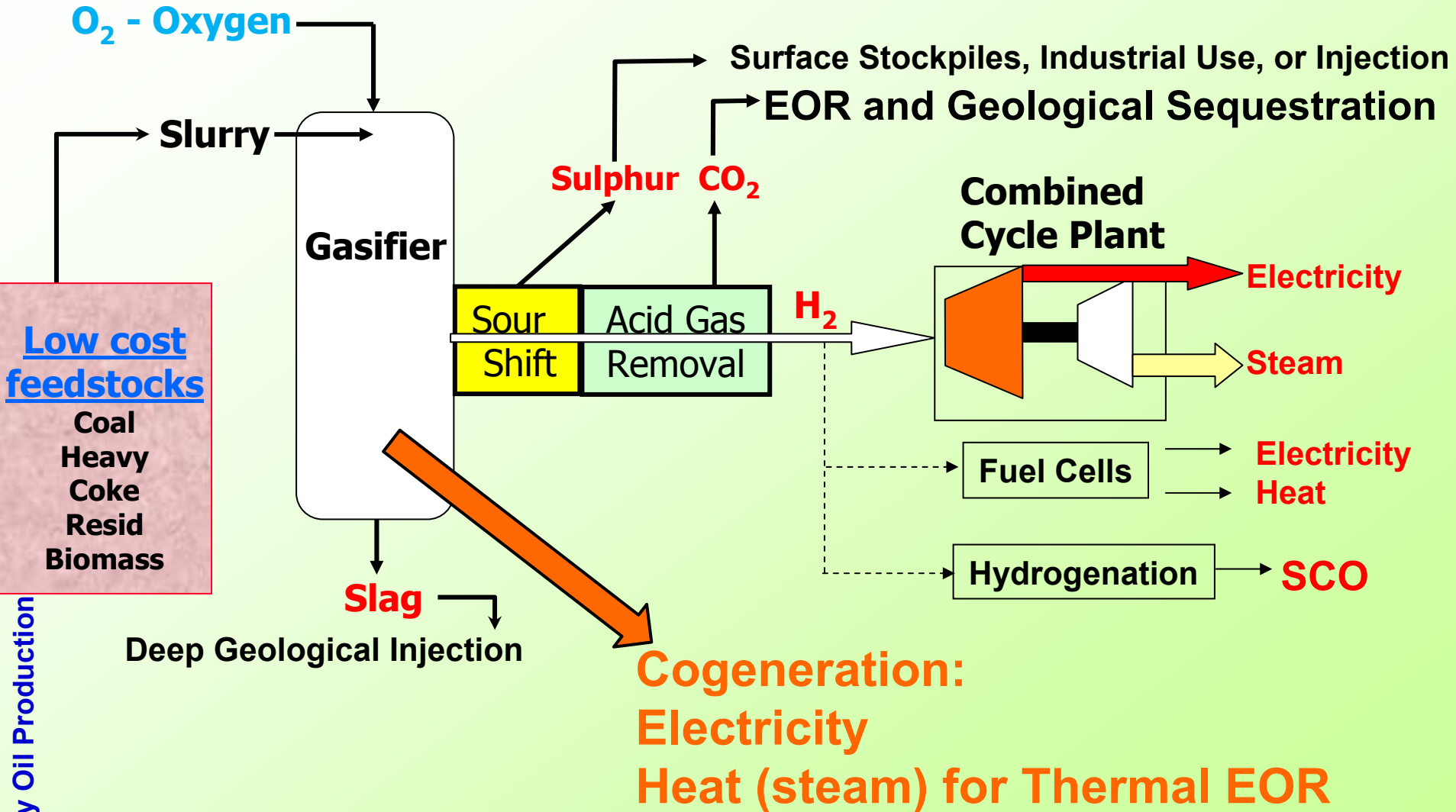
Построение смешанной разработки



Often, viscous oil deposits have many stacked reservoirs

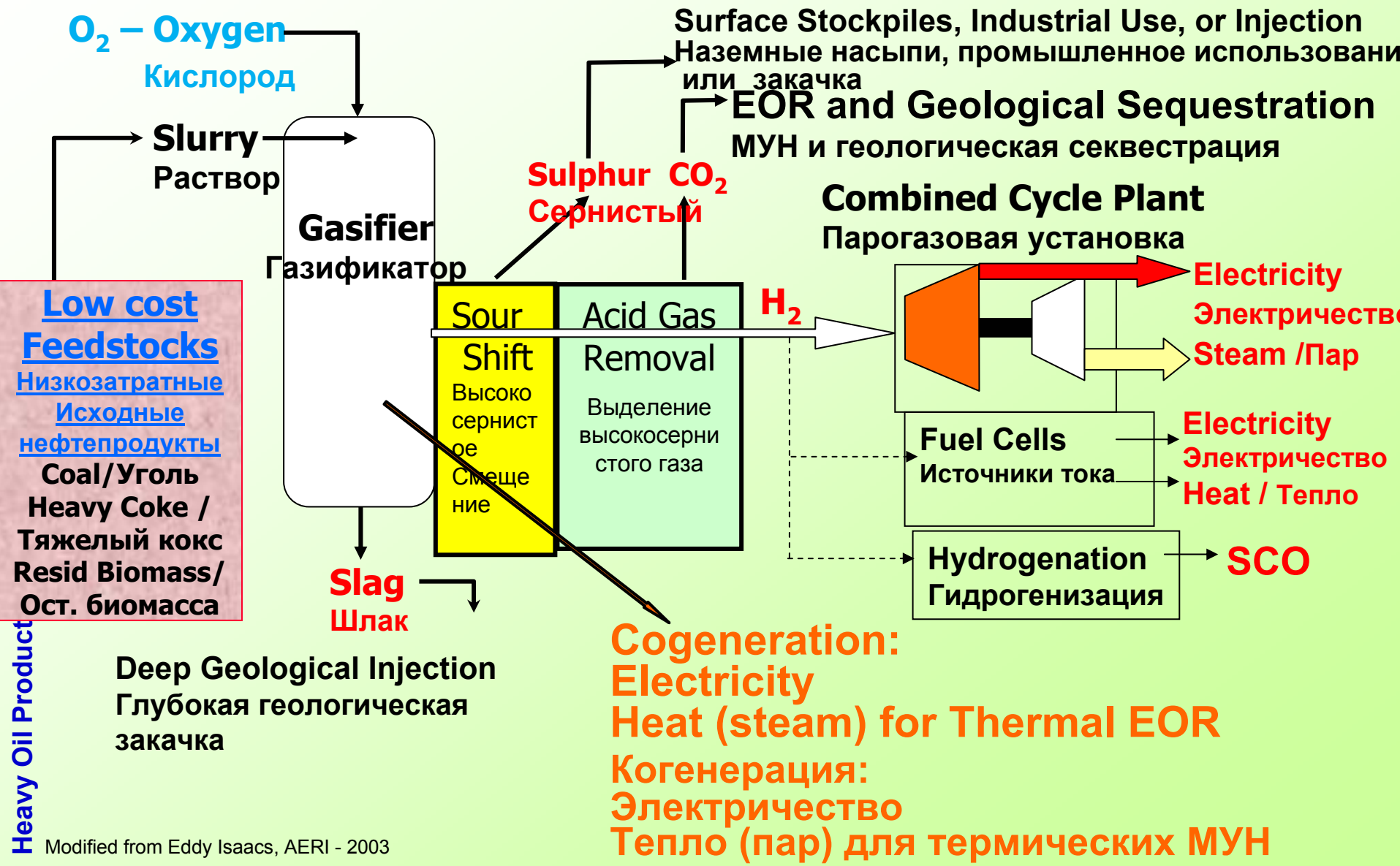
Очень часто залежи вязкой нефти имеют множество пластовых залежей

Coal Gasification + CO₂ Capture



Coal Gasification + CO₂ Capture

Газификация угля + захват CO₂



Summary

Выводы

- ◆ Many new production technologies since 1985
 - ➔ Vertical wells ↔ horizontal wells
 - ➔ Thermal methods ↔ non-thermal methods
- ◆ CHOPS is the only method for thin zones
- ◆ CP needs excellent zones, low OPEX, low R_F
- ◆ Steam methods high OPEX: >\$15/b
- ◆ Gravity methods give high R_F > 60% (?)
- ◆ CSS, HCS give 30-40% R_F
- ◆ We have a great deal yet to learn...
 - ➔ Steam + solvents, combustion?...
 - ➔ Alternating cycles, sequencing of methods...
- ◆ Большинство новых технологий добычи применяется с 1985
 - ➔ Вертикальные ↔ горизонтальные скважины
 - ➔ Термические ↔ нетермические методы
- ◆ CHOPS - единственный метод применимый в тонких зонах
- ◆ Для CP (холодного метода добычи) требуются первоклассные зоны, низкие операционные расходы, низкий R_F
- ◆ Методы паровой закачки - большие операционные расходы: >\$15/б
- ◆ Гравитационные методы дают высокий R_F > 60% (?)
- ◆ CSS, HCS дают 30-40% R_F
- ◆ Многое еще необходимо изучить...
 - ➔ Пар + растворители, горение?..
 - ➔ Чередующиеся циклы, последовательность методов...

Acknowledgements and Thanks

Выражение признательности и благодарности



- ◆ Moscow SPE Section
- ◆ Companies who make data public
- ◆ ERCB in Alberta, SEM in Saskatchewan
- ◆ University of Waterloo
- ◆ Schlumberger (Russia) for the great help in planning this visit
- ◆ I GAVE THE SPE SECTION A CD OF SELECTED ARTICLES & PRESENTATIONS ON THIS SUBJECT...
- ◆ Московской секции SPE
- ◆ Компаниям, публикующим свои данные
- ◆ ERCB в Альберте, SEM в Саскачеване
- ◆ Университету Ватерлоо
- ◆ Шлюмберже (Россия) за огромную помощь при организации данного визита
- ◆ КОМПАКТ ДИСК С ИЗБРАННЫМИ СТАТЬЯМИ И ПРЕЗЕНТАЦИИ БЫЛИ ПЕРЕДАНЫ МНОЙ СЕКЦИИ SPE ...