

Distinguished Lecturer Program

**Лекционная программа,
финансируемая Обществом инженеров-нефтяников
за счет членских взносов и финансовой поддержки со стороны
Offshore Europe**

Общество инженеров-нефтяников выражает благодарность компаниям, предоставившим своих специалистов для организации программы.

Программа организована при дополнительной поддержке со стороны Американского института горных инженеров.



Society of Petroleum Engineers
Distinguished Lecturer Program
www.spe.org/dl

Увеличение добычи и контроль пескопроявлений в газовых скважинах большого диаметра на Лунском месторождении

Майк Ганнингем,
«Сахалин Энерджи Инвестмент Компани Лтд.»



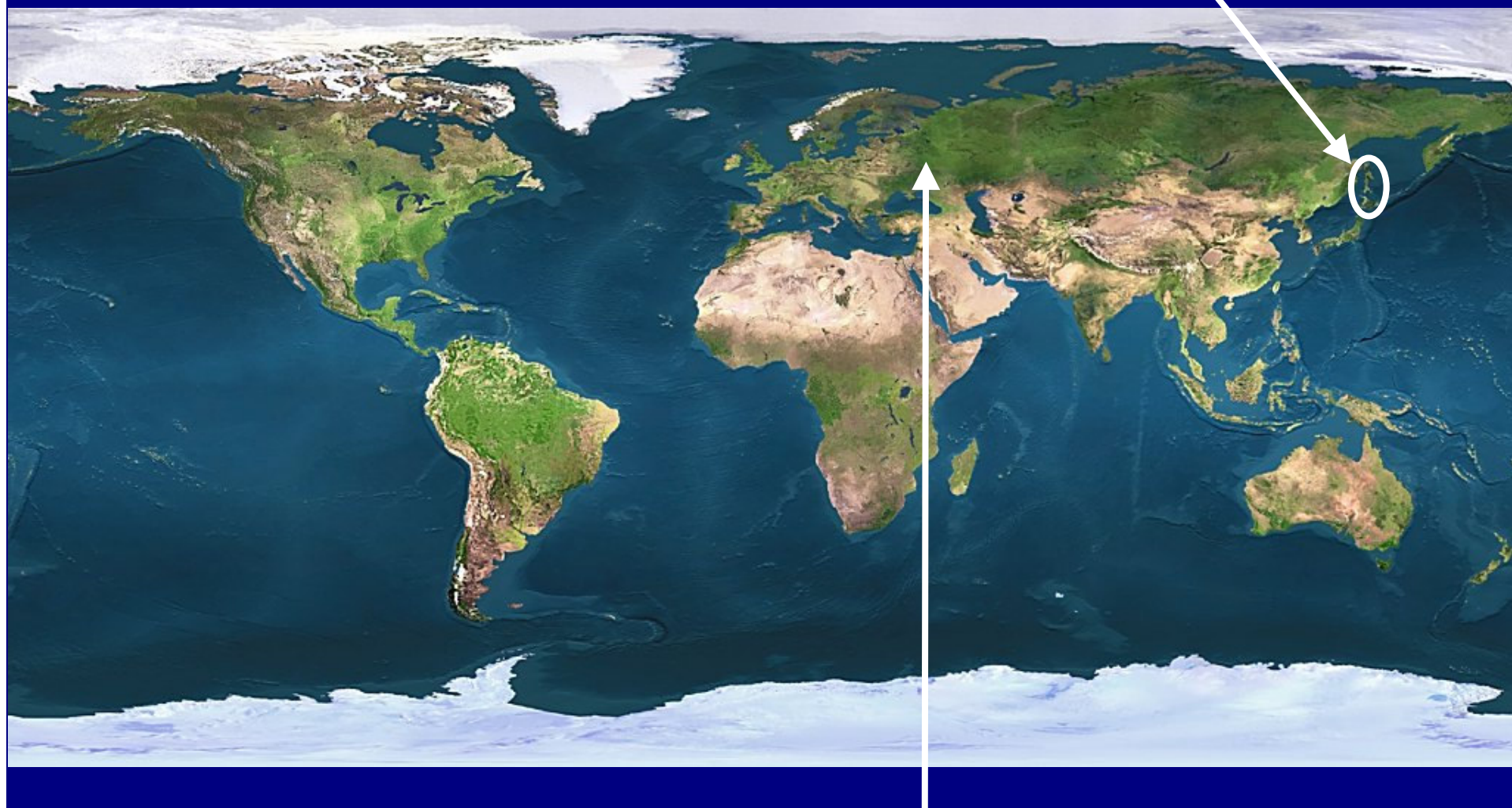
Содержание

- Общая справка о проекте «Сахалин-2»
- Краткое описание Лунского месторождения
- Первоначальная схема заканчивания скважин
- Процесс выбора новой схемы заканчивания скважин
- Новая схема заканчивания скважин
- Количественная оценка риска и план по контролю пескопроявлений
- Выводы



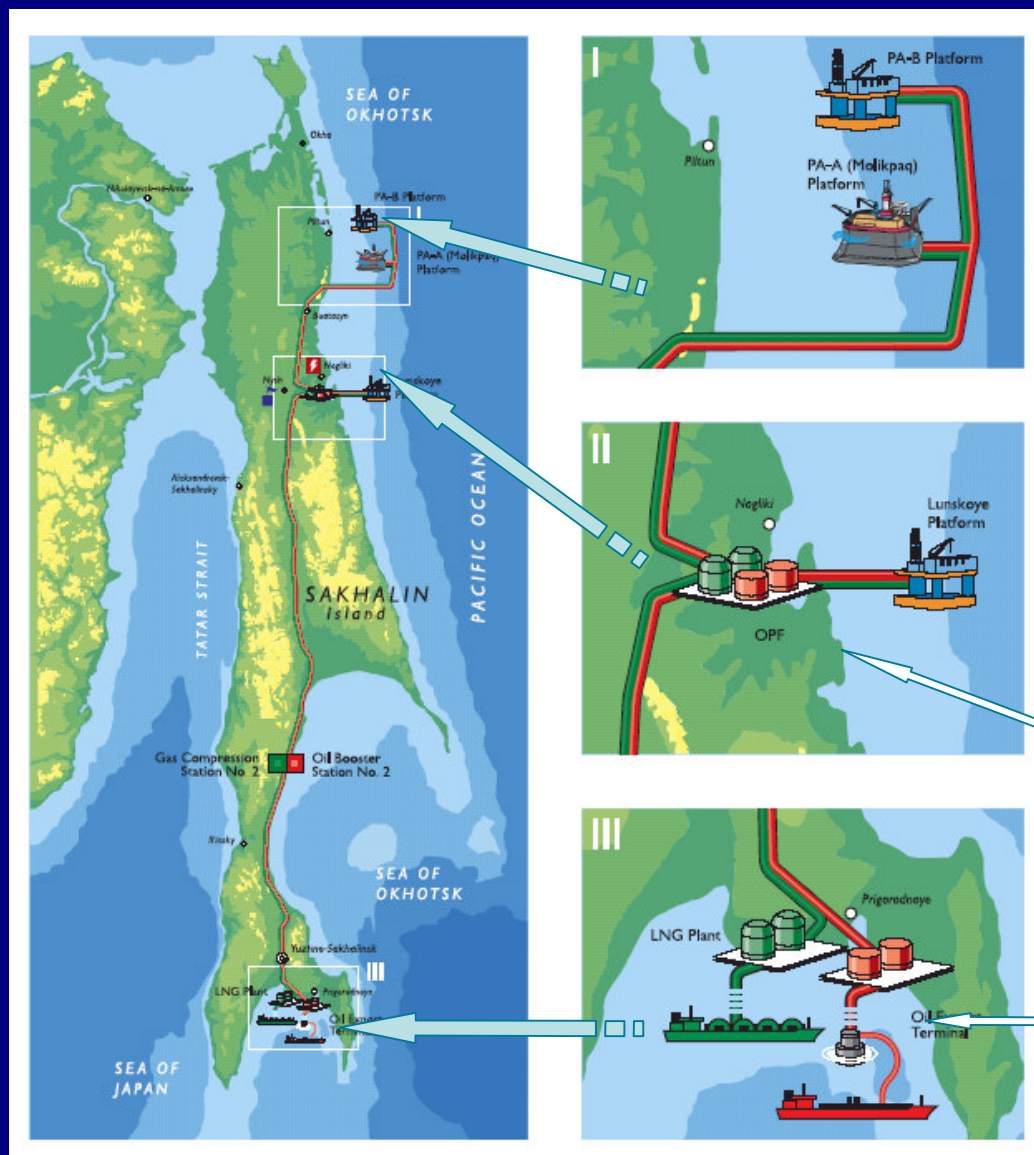
Географическое положение острова Сахалин

о. Сахалин



Вы находитесь здесь

Общая справка о проекте «Сахалин-2»

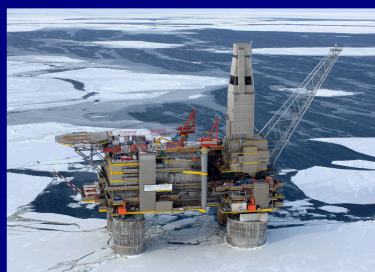


- Нефтедобывающая платформа Пильтунская-Б (70 тыс. барр. /сут.)
- Круглогодичная добыча нефти с Астохской площади (70 тыс. барр./сут.)
- Платформа Лунская-А (1800 млн куб. ф/сут. газа и 45 тыс. барр. /сут. конденсата)
- Объединенный береговой технологический комплекс
- Нефте- и газопроводы
- Завод по производству СПГ (9,6 млн т/г) и терминал отгрузки нефти



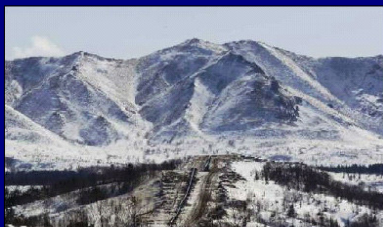
«Сахалин-2»: новый мегапроект в удаленном географическом регионе

Общая стоимость проекта - 22 млрд долларов



Две новые
платформы

Численность персонала
более 20 тыс. чел.,
трудозатраты 60×10^6
человеко-часов в год



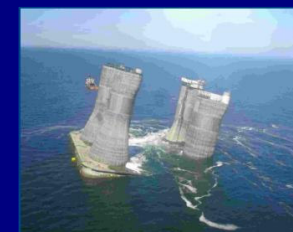
Нефте-
и газопроводы
длиной 800 км

Экологически
уязвимый
район работ



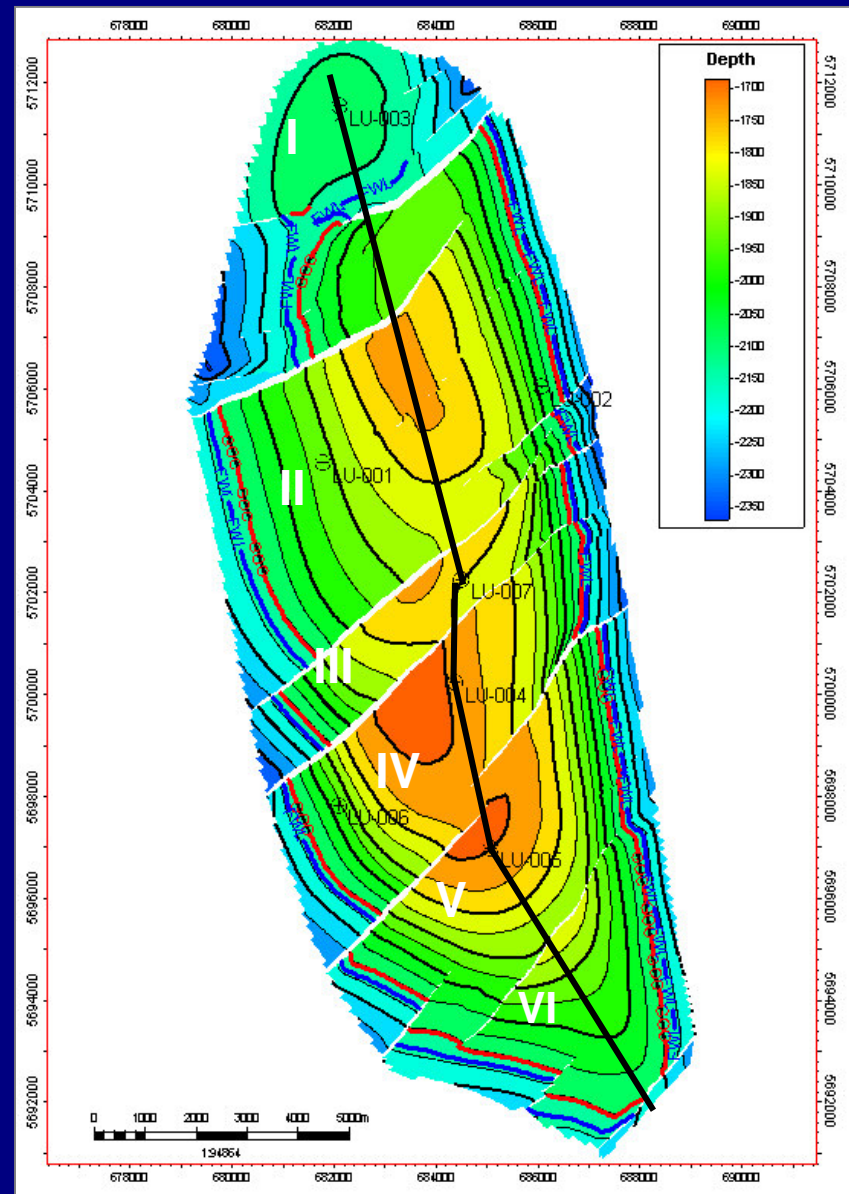
Первый в России завод
по производству СПГ,
две технологические
линии мощностью 4,8
млн тонн СПГ в год
каждая

Проектные
расходы
100 долл./сек.



Лунское газовое месторождение

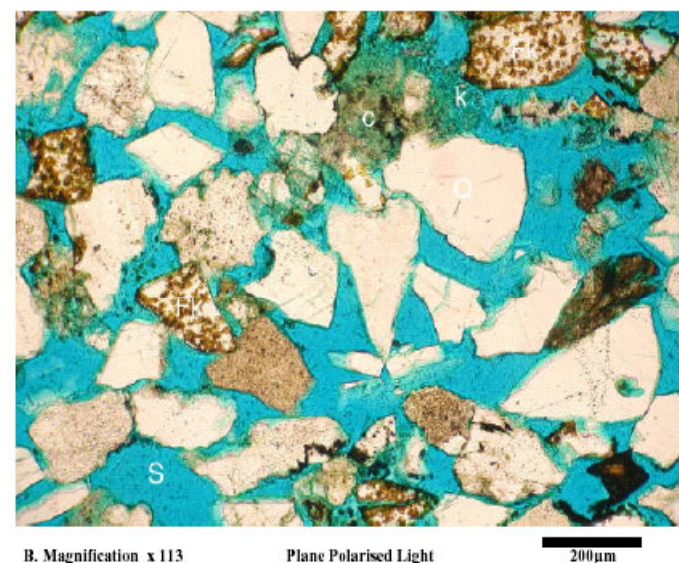
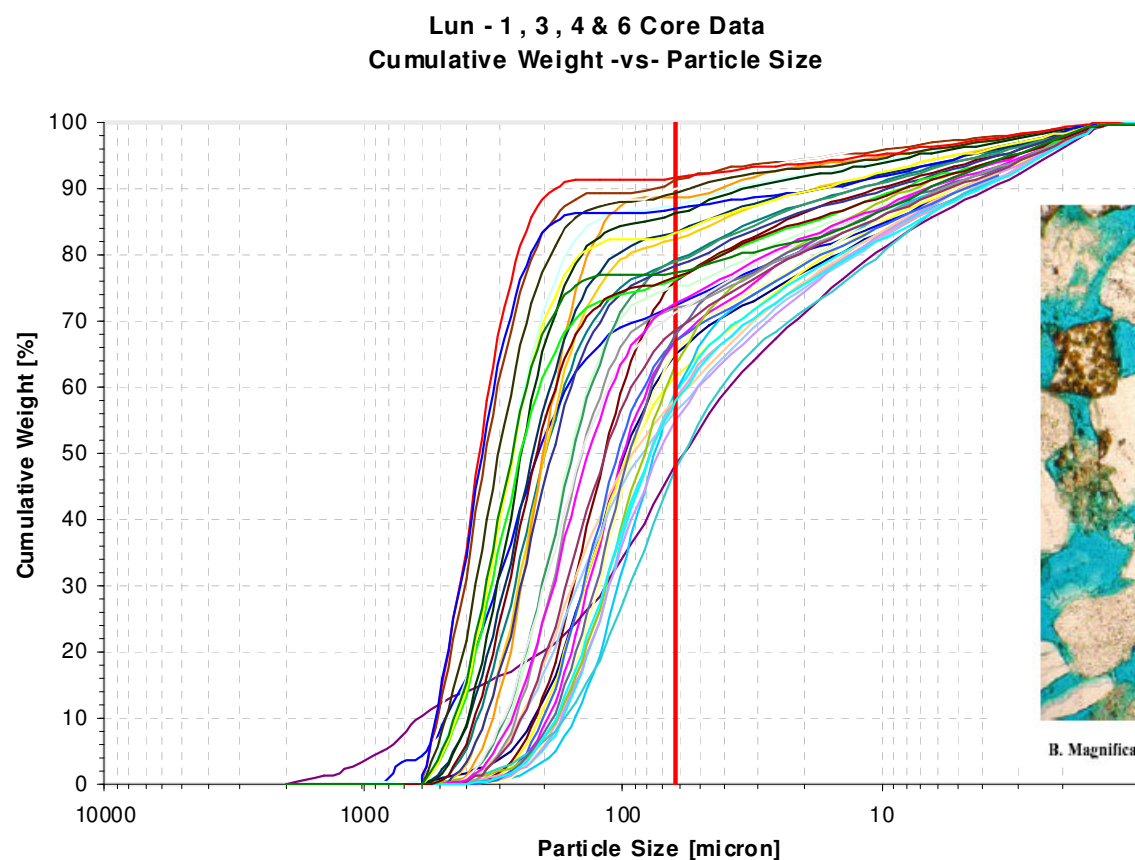
- Месторождение открыто в 1984 г., изучено семью разведочными скважинами.
- Первокласная газовая залежь с тонкой нефтяной оторочкой:
 - начальные геологические запасы газа 18,6 трлн куб. футов;
 - балансовые запасы товарной нефти 931 млн баррелей.
- Одна платформа (Лун-А) способна в течение 20 лет поддерживать стабильный максимальный уровень добычи сырьевого газа для двух технологических линий по производству СПГ.



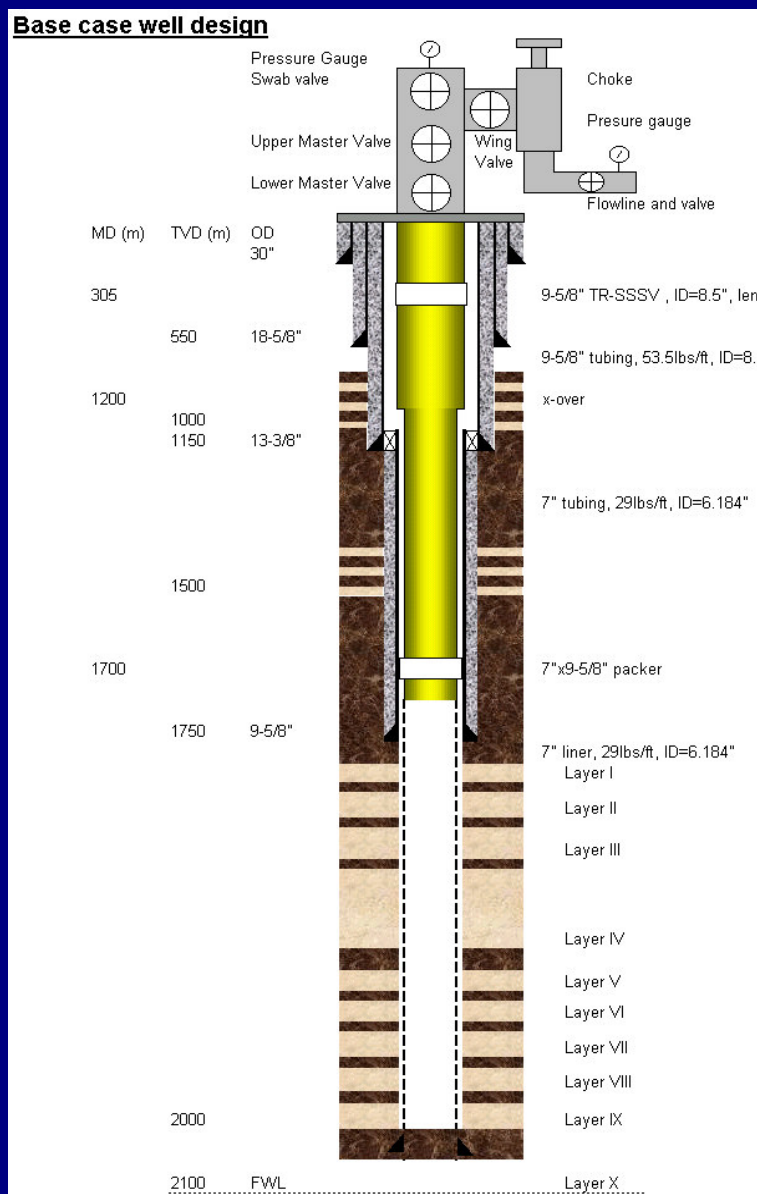
Свойства продуктивных пластов Лунского месторождения

Ср. пористость = 25%,
 $d_{50} = 55-357$ ($A_v = 167\mu\text{m}$)
(23%)

Проницаемость = 150 – 1 200 мД
Содержание мелких фракций = 7-42

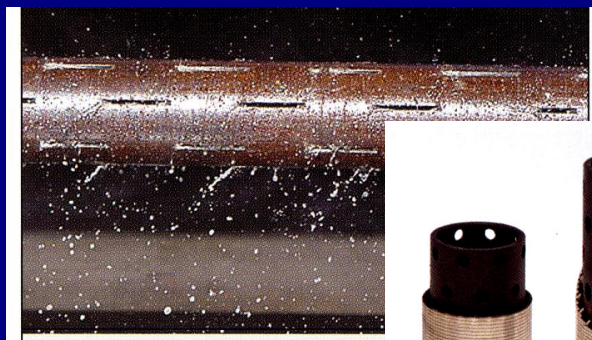
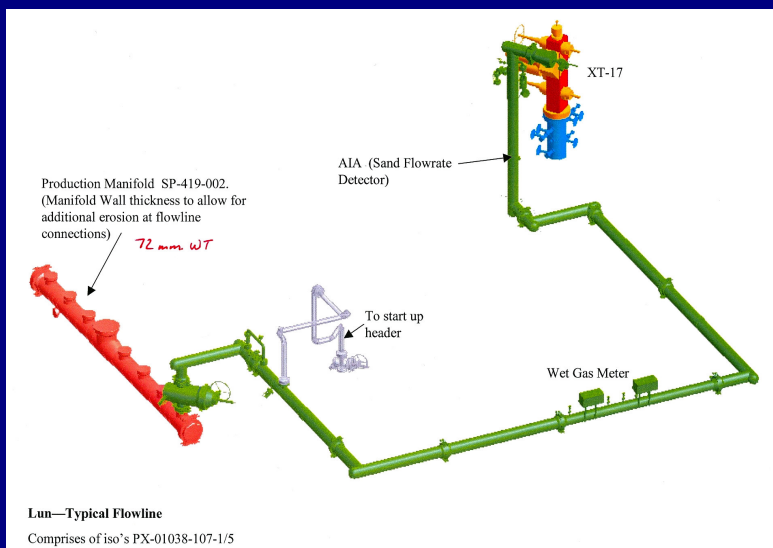


Первоначальная схема газовой скважины (2002 г.)



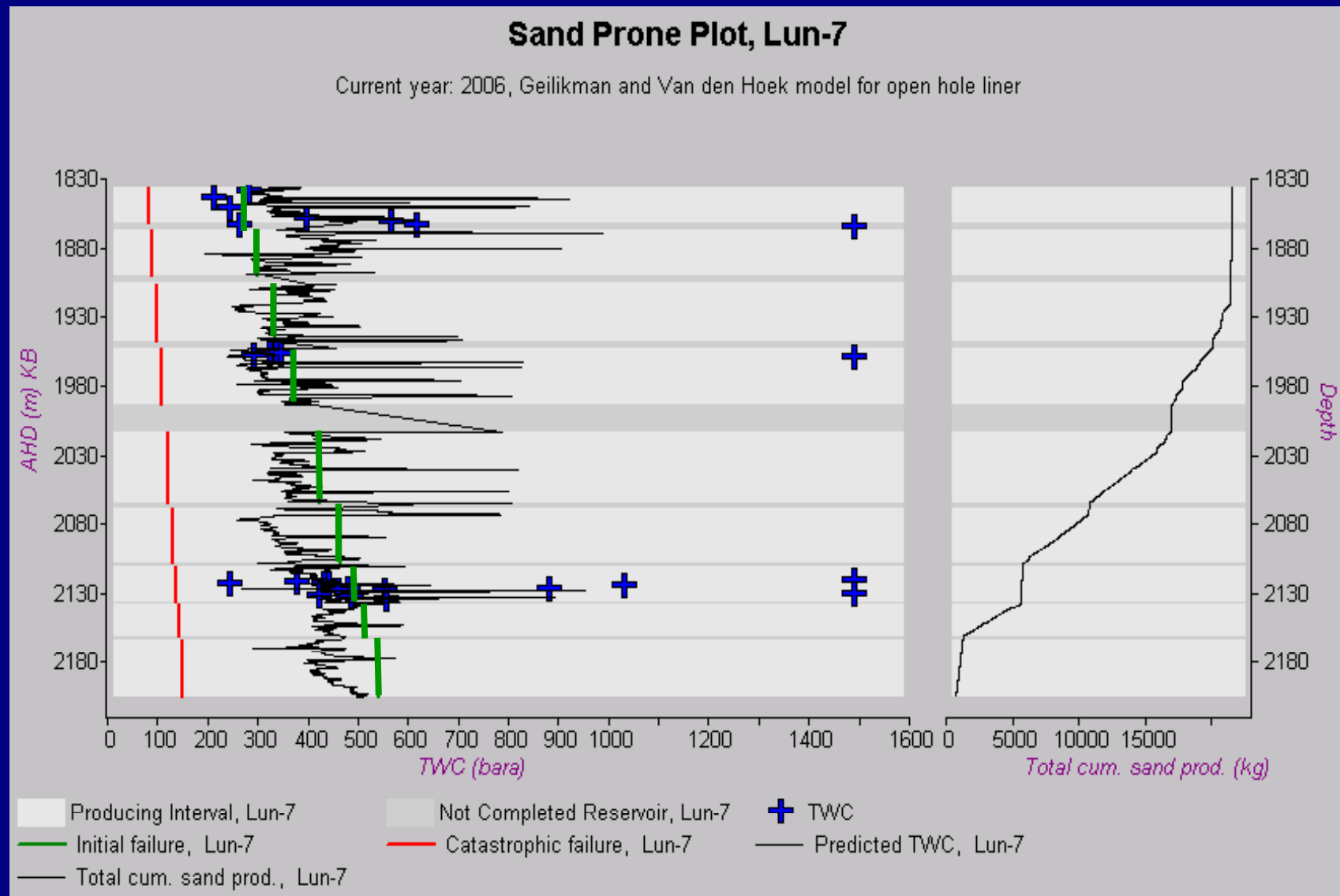
- Ступенчатая насосно-компрессорная колонна 9-5/8" x 7" из стали «хром 13», заканчивание с открытым забоем с использованием предварительно перфорированного хвостовика или хвостовика с щелевыми отверстиями.
- Предусмотрен контроль содержания песка и возможность модернизации системы контроля пескопроявлений.
- Верхнее строение спроектировано с учетом пескопроявлений (0,5 фунта/млн ст. куб. футов), ожидаемый вынос песка 1/2 тонны в сутки.

Доработка первоначальной схемы скважин в 2002-2004 гг.

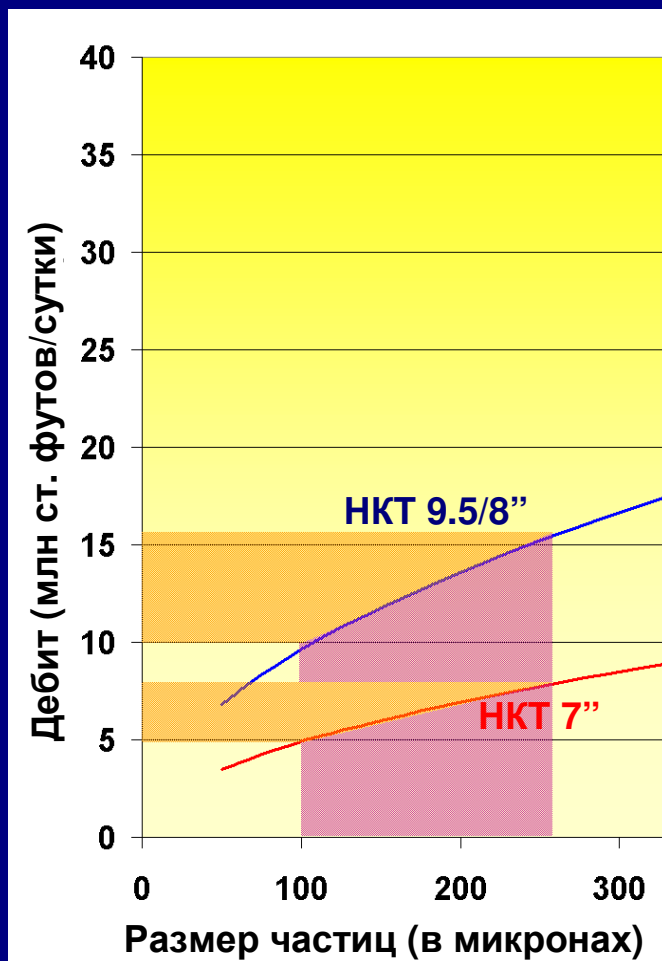


- Повышение экономичности верхнего строения:
 - Отказ от оборудования для борьбы с пескопроявлением;
 - Уменьшение диаметра выкидных линий с 14" до 12" (для более эффективного контроля эрозии);
 - Отказ от установки замерного сепаратора.
- Ускорение начала поставок газа:
 - Из графика удален запас времени на модернизацию системы контроля пескопроявлений.
- 2004 г.: ожидается высокая продуктивность газовых скважин и пескопроявления, при этом:
 - схема заканчивания не предусматривает задержку песка;
 - поверхностное оборудование по контролю пескопроявлений имеет лишь минимальную мощность.

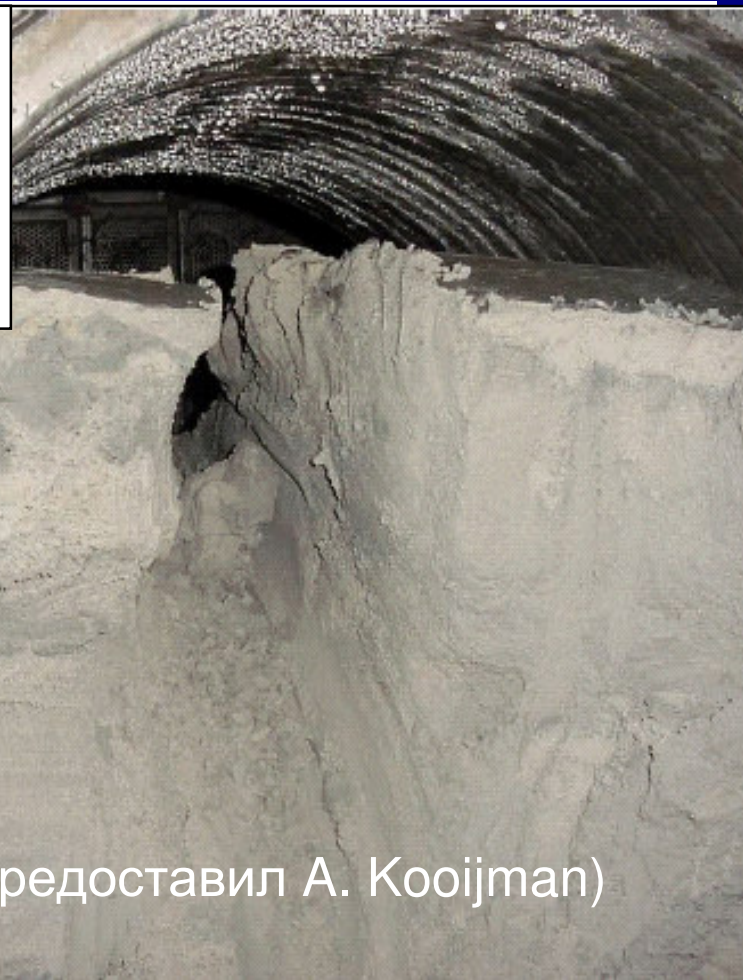
Оценка пескопроявлений при заканчивании с открытым забоем (2004 г.)



Вынос песка из скважины



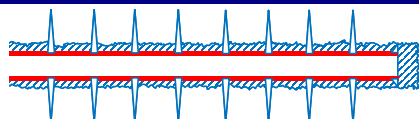
Сепаратор
воды и
конденсата



Если бы подобное произошло на платформе Лунская-А, задержка с выходом на расчетный уровень добычи составила бы не менее 4-6 месяцев.

Пересмотр технического проекта: выбор новой схемы заканчивания скважины

Обсаженный забой с перфорацией



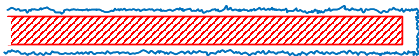
Открытый забой с гравийным фильтром



Расширяемый песчаный фильтр



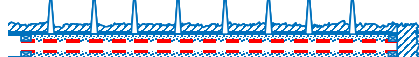
Автономный фильтр



Хвостовик с щелевыми прорезами



Внутренний гравийный фильтр



Хвостовик с предварит. перфорацией



Необсаженный забой



← Оценивался объем выноса песка для схемы заканчивания обсаженной скважины с перфорацией без фильтра для задержки песка, а также уровень продуктивности такой скважины.

SPE 88493

	Без спуска обсадной колонны	Хвостовик с просверленными отверстиями	Хвостовик с щелевыми прорезами	Отдельное сито	Обсаженный и перфорированный забой	Расширяемый противопесочный фильтр	Гравийный фильтр в открытом стволе
Общий объем работ							
Надежность							
Технич. осуществимость							
Производительность							
Стоимость							
Экологич. безопасность							

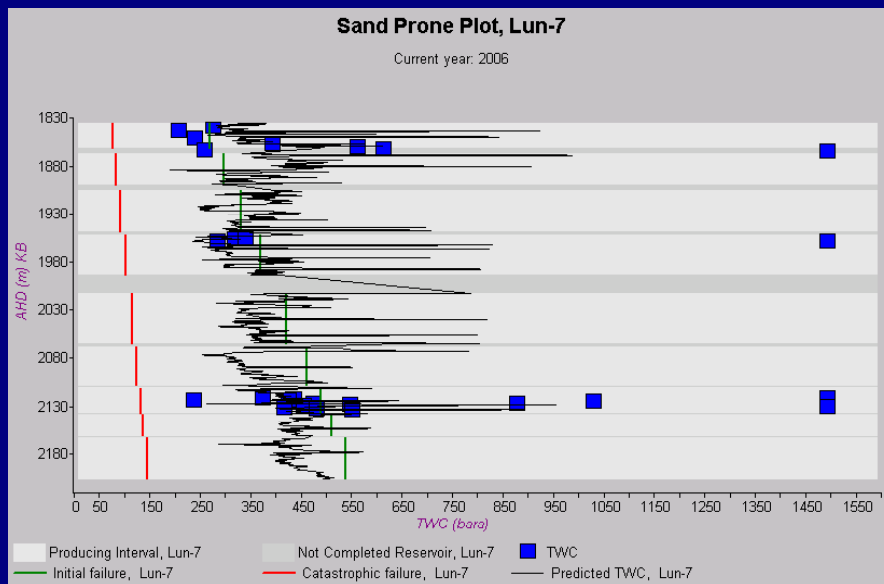
Оптимальный вариант

Возможный вариант

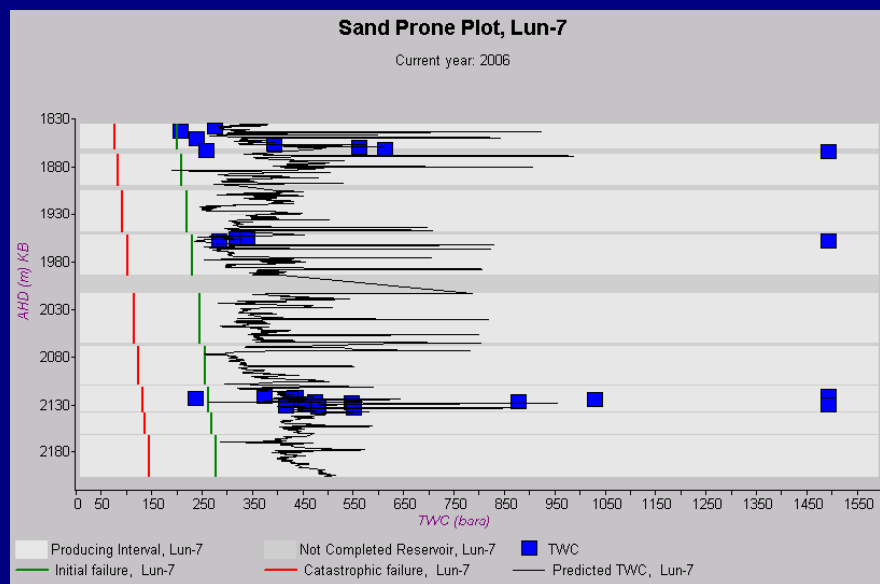
Наихудший вариант

Прогноз пескопроявления для схемы с открытым забоем и для схемы с обсаженным и перфорированным забоем

Открытый забой

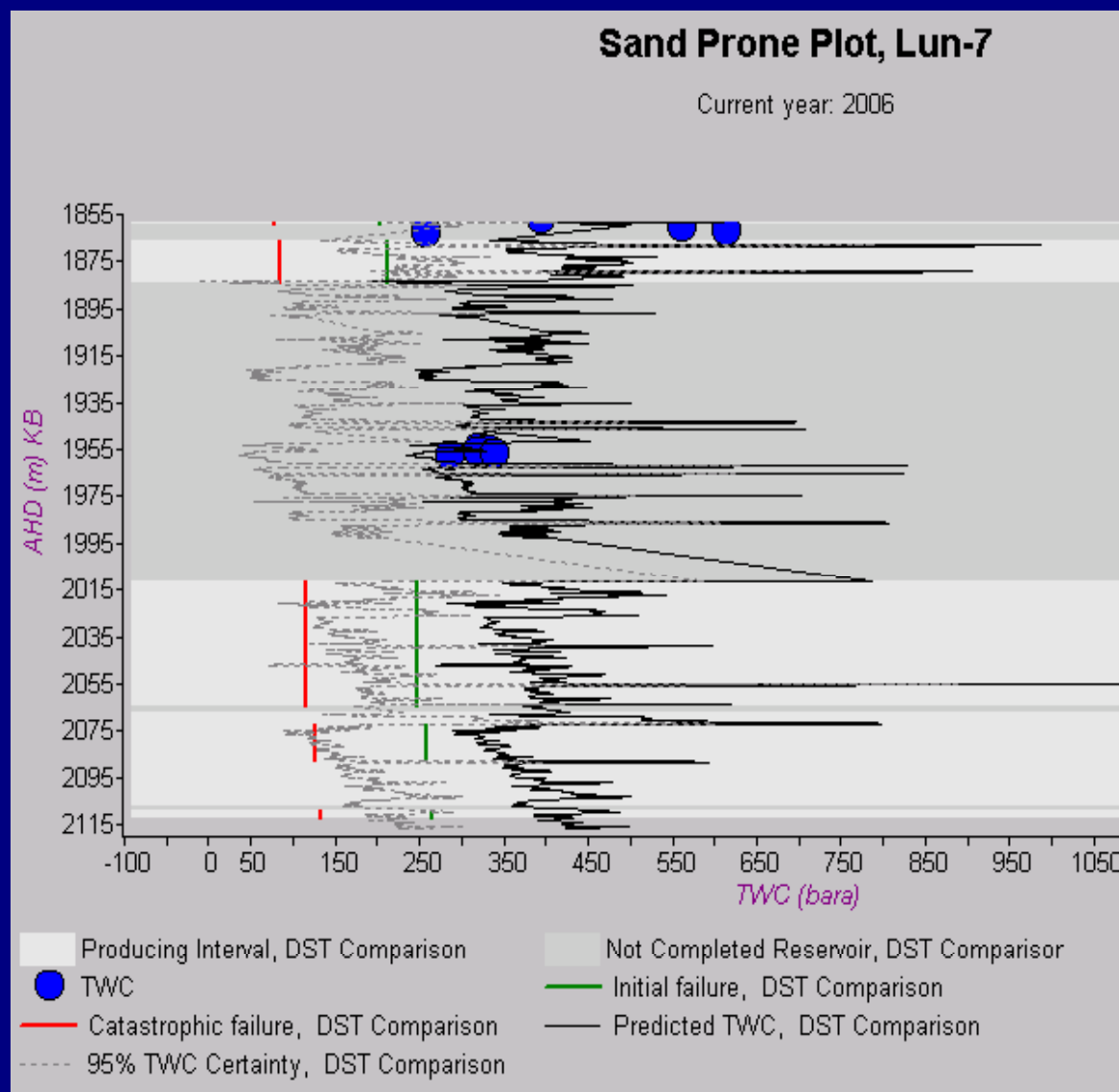


Обсаженный и перфорированный забой



Ожидается, что вынос песка в скважинах с обсаженным и перфорированным забоем будет происходить позднее (и в меньших объемах), чем в скважинах с открытым забоем.

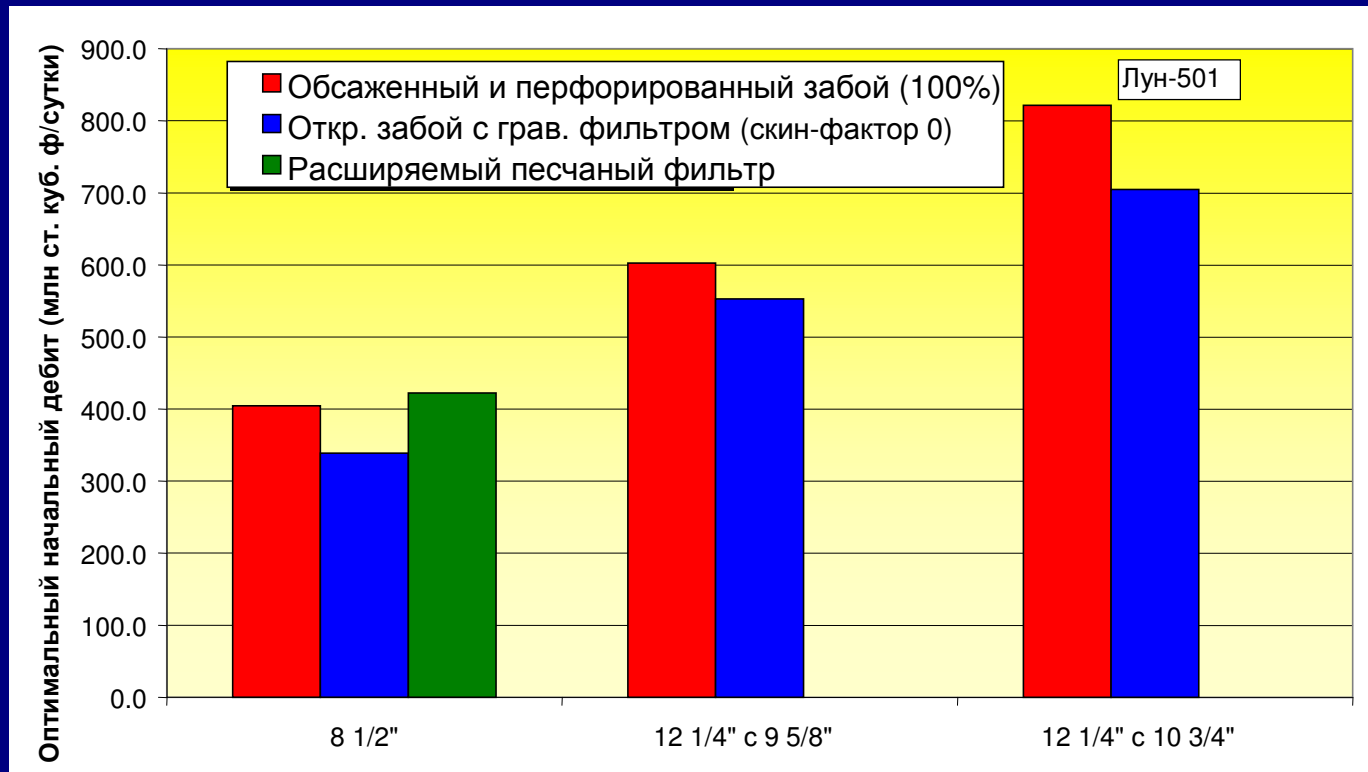
Корректировка прогноза в 2004 г.: обсаженный и перфорированный забой



- Данные опробования пласта скважинным испытателем в скважине Лун-7 показали отсутствие песка.
- Подтвердилась правильность прогноза.
- Прогноз показал, что пескопроявления не ожидаются и в других скважинах, что подтвердилось при опробовании пласта скважинным испытателем.

Прогноз продуктивности (Лун-501)

- Вертикальные траектории скважин заменены на наклонные в целях увеличения площади контакта скважины с продуктивным пластом.
- Рассмотрены схемы заканчивания с открытым забоем для диаметров 8 1/2" и 12 1/4".



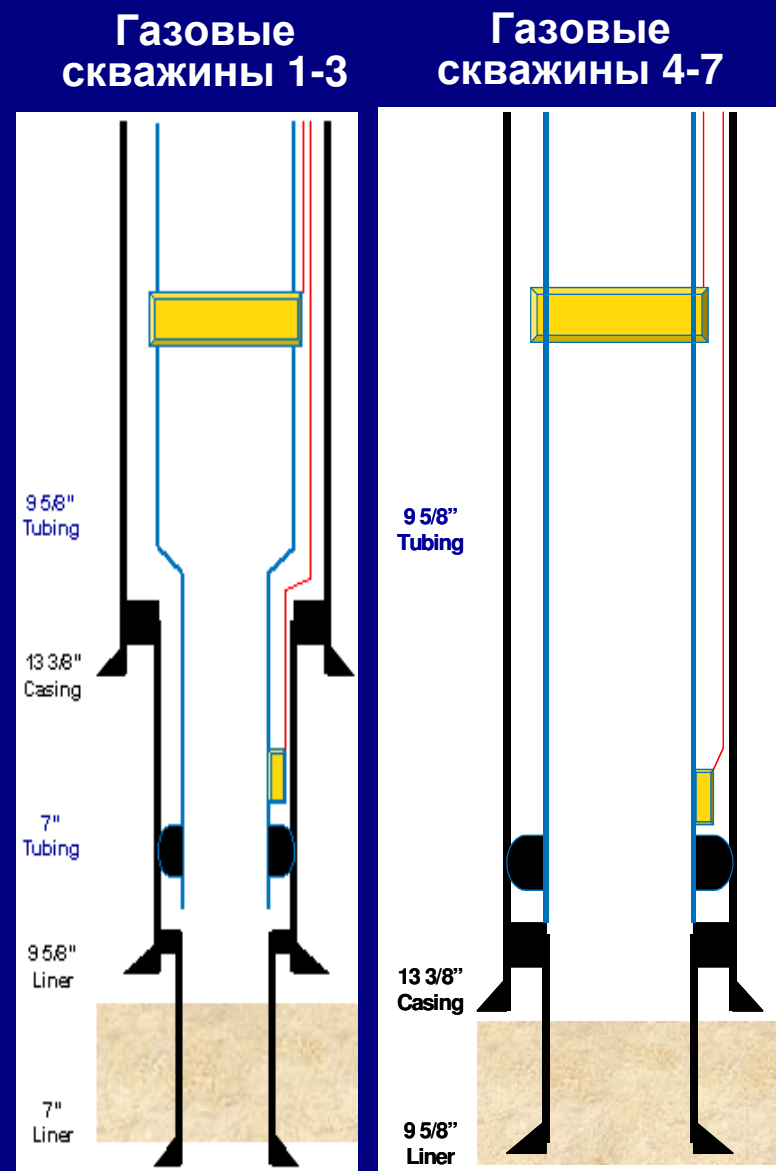
Сравнение схем заканчивания скважин

Схема заканчивания	Достоинства	Недостатки
Обсаженный и перфорированный забой	Надежная, продуктивная скважина с возможностью изоляции водоносных горизонтов	Пескопроявления ожидаются на более позднем этапе.
Открытый забой с гравийным фильтром	Контроль выноса песка	Сложность реализации зимой. Более низкая продуктивность. Высокая стоимость и сложность установки. Не предусмотрена возможность изоляции водоносных горизонтов.
Расширяемый песчаный фильтр	Контроль выноса песка	Ограниченный опыт применения в высокопродуктивных газовых скважинах. Не предусмотрена возможность изоляции водоносных горизонтов. Только для диаметра 8 1/2".

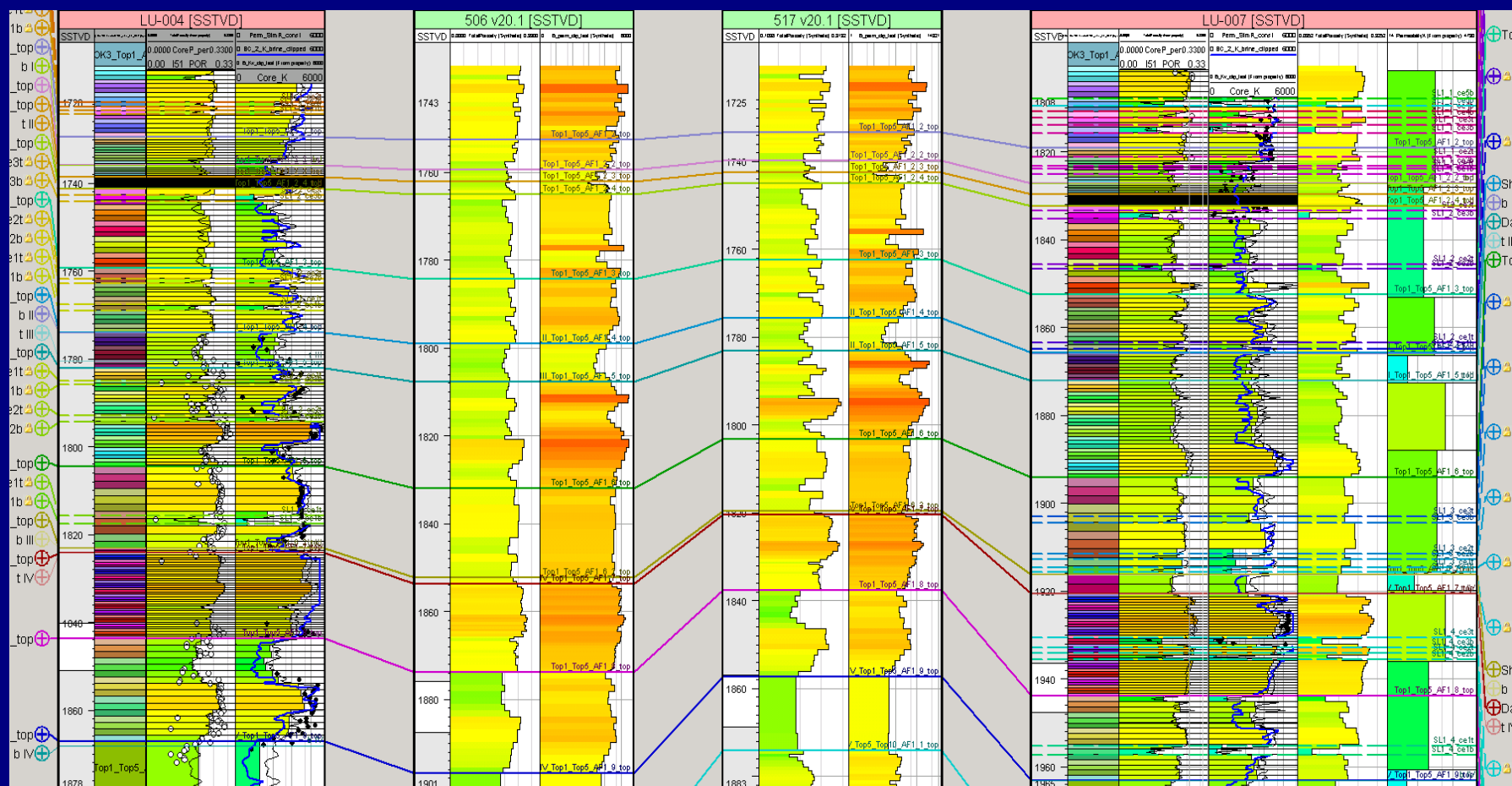
Вывод: использовать обсаженный и перфорированный забой, провести дополнительное детальное изучение расширяемого песчаного фильтра и открытого забоя с гравийным фильтром.

Оптимизация схемы заканчивания с обсаженным и перфорированным забоем

- Выполнена оценка геологического разреза эксплуатационной скважины с дискретизацией 2 м по стволу.
- 400 интервалов притока (2-3 м по стволу).
- Прогноз пескопроявления выявил песчаные интервалы, склонные к разрушению. Эти интервалы не перфорируются.

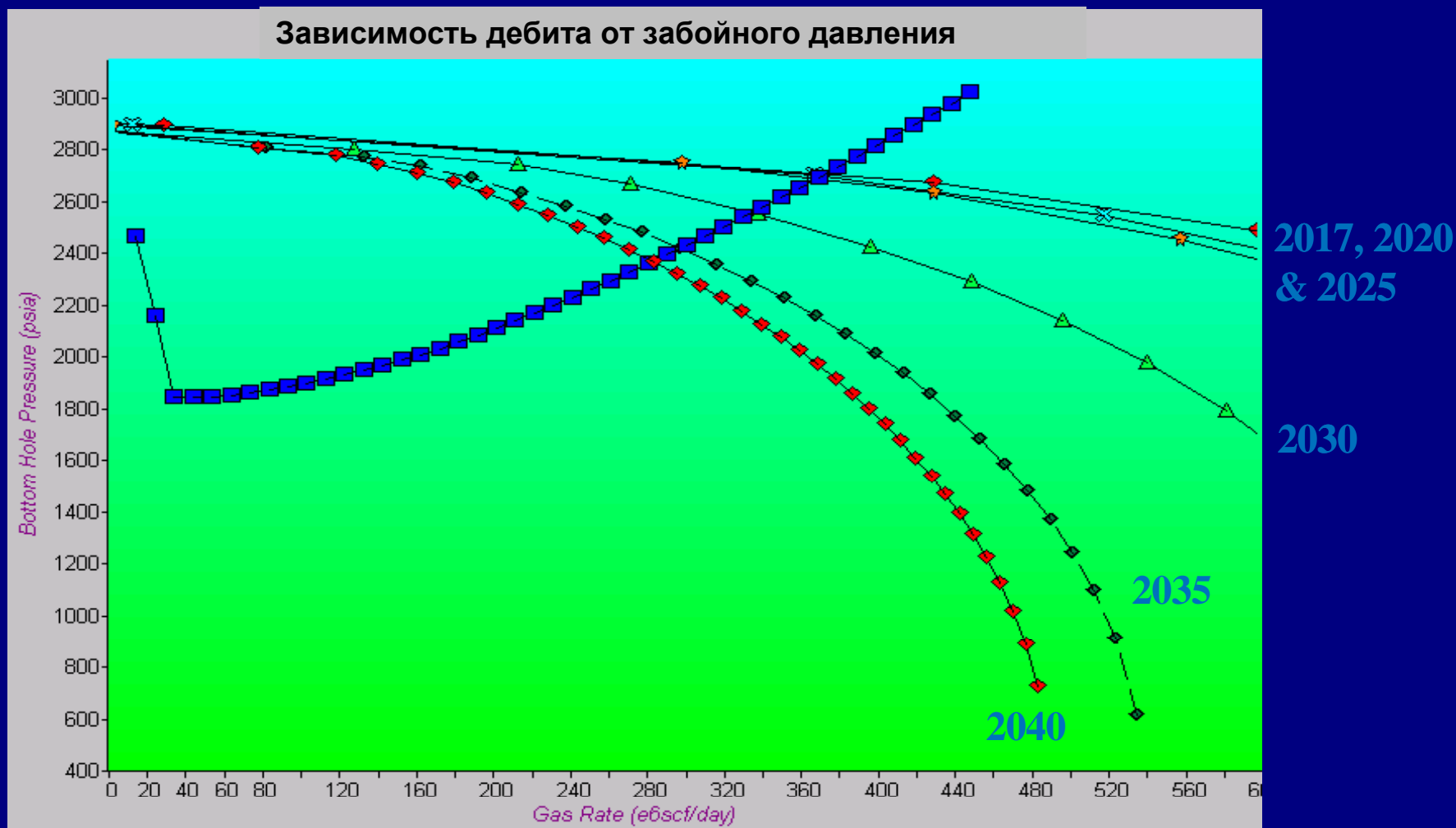


Пример дискретизации пластов Дагинской свиты в программе Petrel



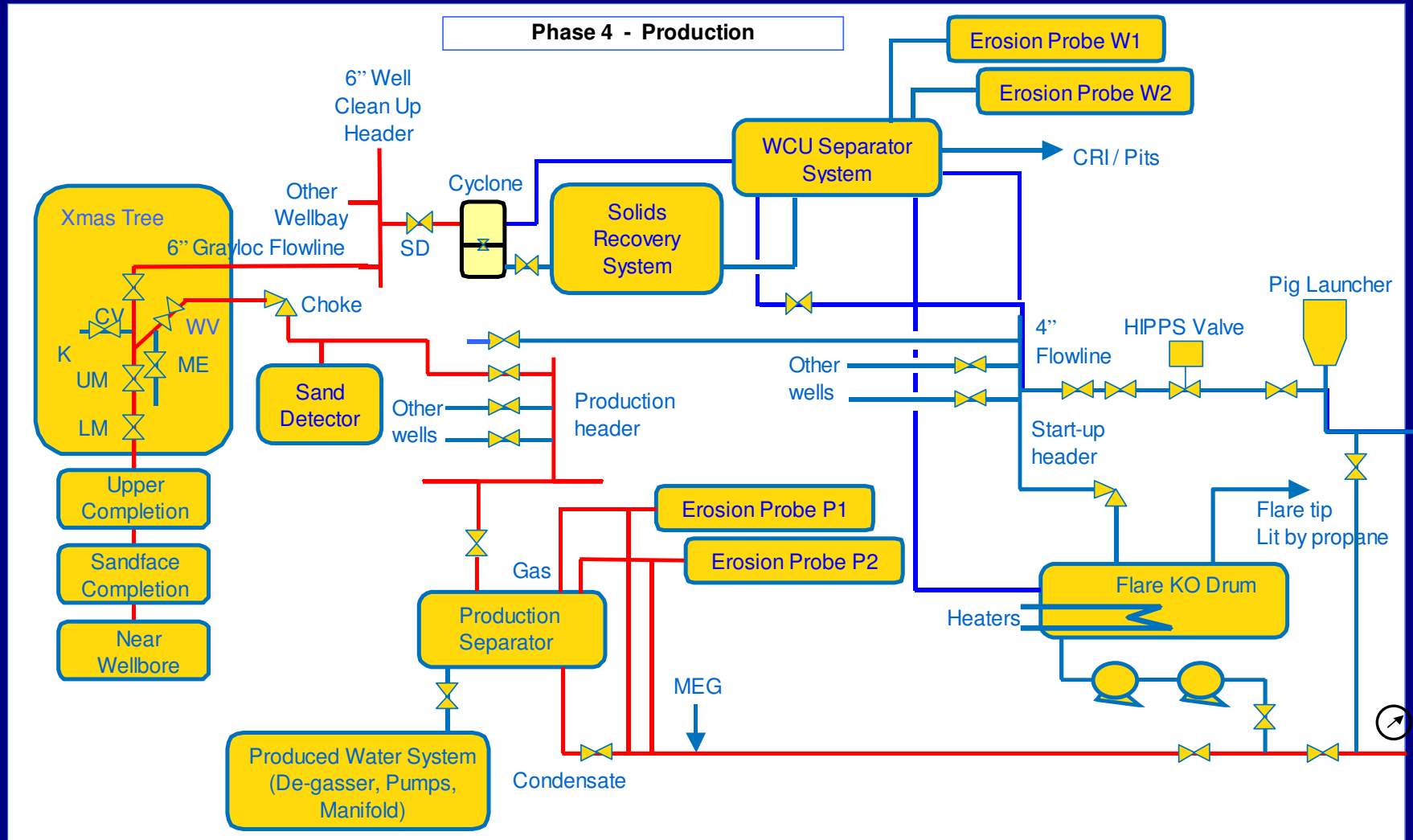
Интервал 2м

Влияние схемы с выборочной перфорацией на начальный дебит скважины



- Выборочная перфорация для обеспечения нулевого выноса песка в период до 2025 г.

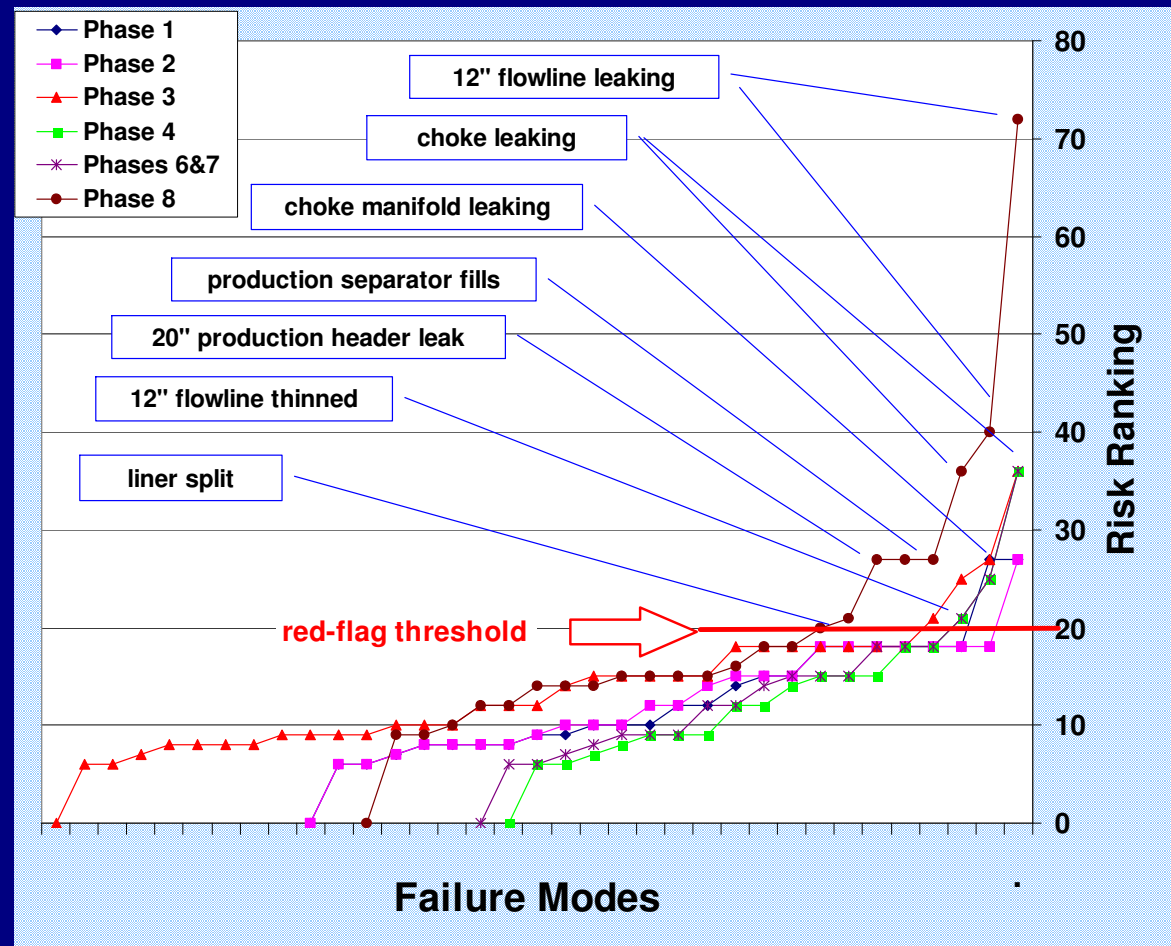
Количественная оценка риска



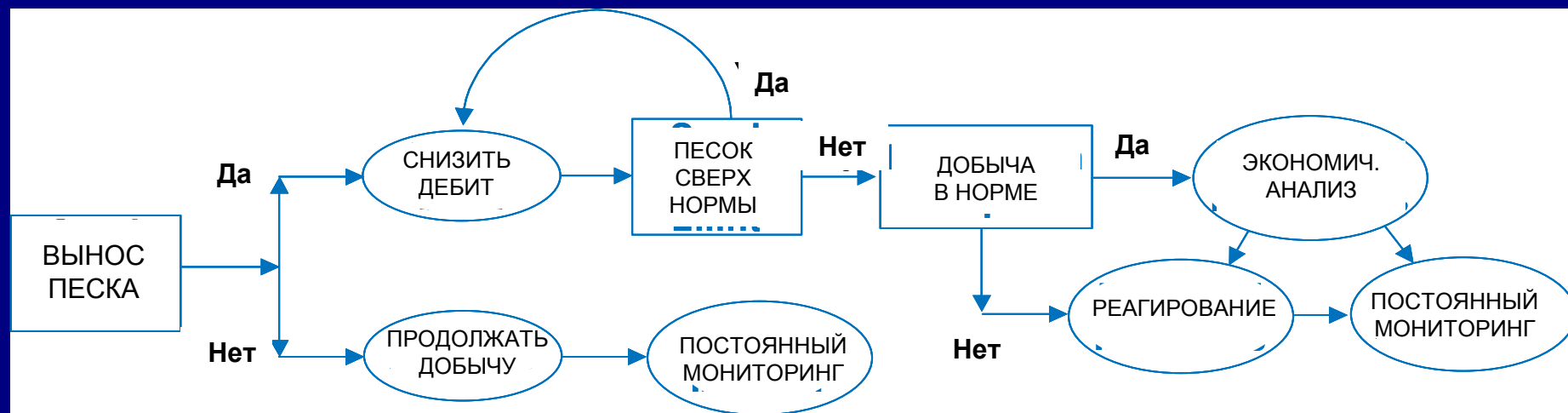
Меры по контролю выноса песка в скважинах

Пример

- Выкидная линия Ø 12”
- Обнаружена эрозия от воздействия песка.
- Варианты реагирования:
 - максимально использовать установку для очистки скважин;
 - медленно и постепенно увеличивать дебит с помощью штуцера;
 - использовать зажимной детектор выноса песка;
 - провести неразрушающее испытание.



Схемы заканчивания скважин, предусматривающие реагирование на вынос песка



Матрица вариантов реагирования

	Re-Perforate	Sand Consolidation/Polymer Shut-off	Cement squeeze & drill out	Cement Plug	Mechanical Plug	Inflatable Plug	Straddle Packers	Cased Hole ESS (WCS)	Wireline Conveyed Screen	Patch (Generic) (W/L & CT)
Selection criteria										
Through Tubing										
Max Running OD<5.75"										
ID restriction post deployment										
Metallurgy CRA, 13Cr or higher										
Deployment (W/L, CT, DP, W/O)	W/L & CT	CT + SPT	CT	W/L & CT	W/L blanks 4-5m	W/L blanks 4-5m	W/L & CT & Blank	DP	W/L	
Length Range		3m/treatment					100m???			
Live Deployment? (Y/N)										
Collapse Rating (psi)										
Mid interval sand production										
Bottom sand production										
Sand location unknown										
Whole section sanding										

План по контролю пескопроявлений

- План по контролю пескопроявлений на Лун-А:
 - Схема заканчивания;
 - Количественная оценка риска;
 - Мониторинг;
 - Распределение обязанностей и составление списка ответственных лиц;
 - Планирование действий в случае чрезвычайной ситуации.
- Применение опыта других компаний-операторов

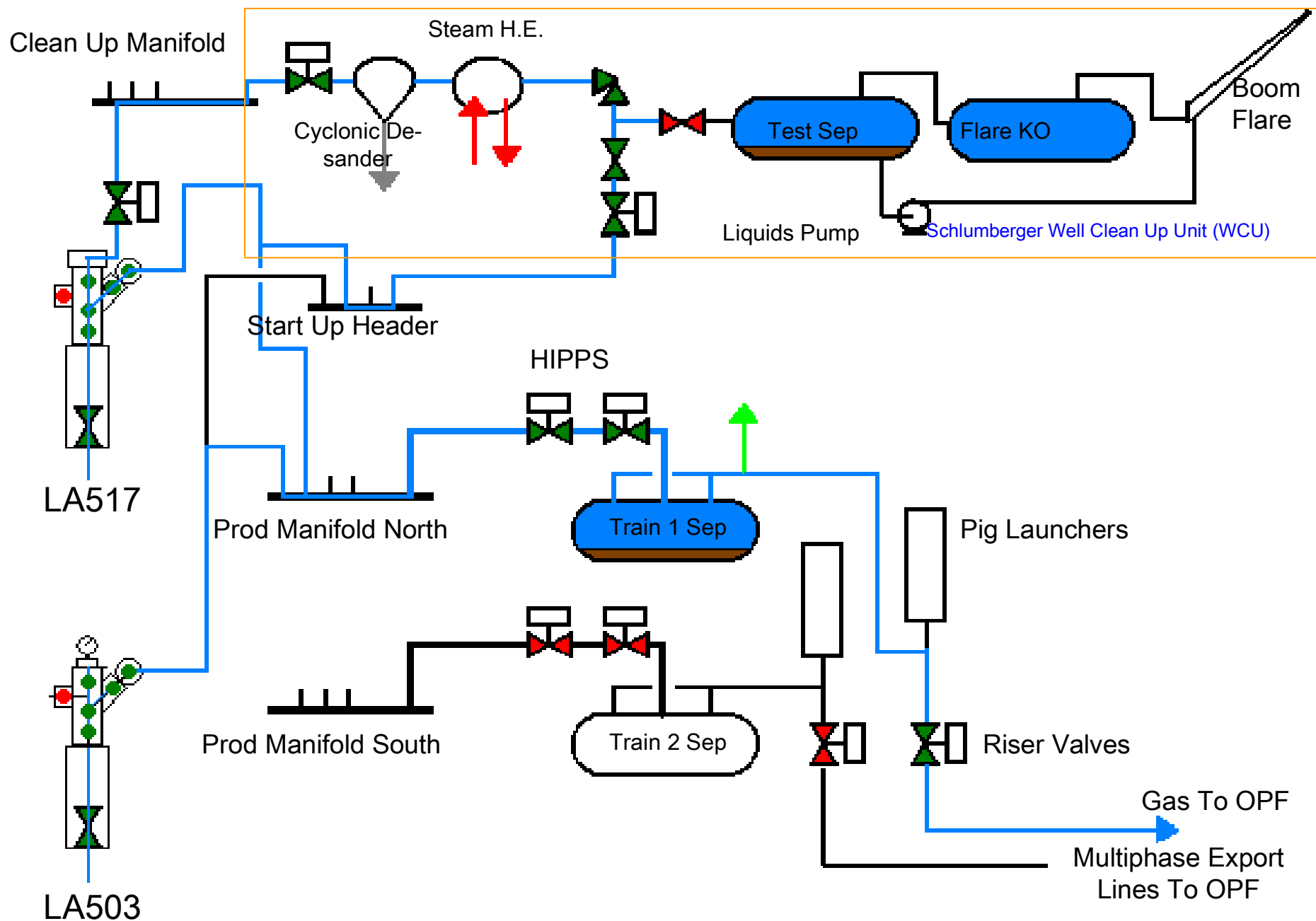
Lunskoye Sand Management Plan

Rev 01

TABLE OF CONTENTS

1	SEIC SAND MANAGEMENT POLICY.....	6
1.1	The Hazards and Effects Management Process (HEMP).....	6
1.2	Geology and Structure of the Lunskoye Field.....	7
1.2.1	Impact of the Lunskoye Structure on the Sand Production Risks.....	8
1.3	Sand Management Team.....	8
2	BACKGROUND TO SAND PRODUCTION ON THE LUNSKOYE FIELD.....	9
2.1	Production from the Lunskoye Field.....	9
2.1.1	Secondary production: Compression.....	9
2.2	Sand Transport from the Well.....	10
2.3	Properties of the sandstone formations – Particle Size Distribution.....	11
2.4	Daghinsky Formation Sand Quality.....	12
2.5	Sand Angularity.....	13
3	SAND PREDICTED FOR THE LUNSKOYE WELLS: INITIAL GAS WELL SEQUENCE.....	13
3.1	Initial well clean-up and bean-up.....	13
3.2	Sand production at plateau production.....	14
4	QUANTITATIVE RISK ANALYSIS:.....	17
4.1	Framework for the GRA.....	17
4.1.1	Probability of Occurrence.....	17
4.1.2	Consequences of Failure.....	18
4.2	Erosion Summary.....	18
4.2.1	Facility layout.....	19
4.2.2	Erosion results.....	19
4.3	Sand Production Prediction.....	21
4.3.1	Sand Production Prediction.....	21
4.3.2	Sand Production Prediction.....	21
4.3.3	Sand Production Prediction.....	26
4.3.4	Sand Production Prediction.....	26
4.3.5	Sand Production Prediction.....	26
4.3.6	Sand Production Prediction.....	26
4.3.7	Sand Production Prediction.....	26
4.3.8	Sand Production Prediction.....	26
4.3.9	Sand Production Prediction.....	26
4.3.10	Sand Production Prediction.....	26
4.3.11	Sand Production Prediction.....	26
4.3.12	Sand Production Prediction.....	26
4.3.13	Sand Production Prediction.....	26
4.3.14	Sand Production Prediction.....	26
4.3.15	Sand Production Prediction.....	26
4.3.16	Sand Production Prediction.....	26
4.3.17	Sand Production Prediction.....	26
4.3.18	Sand Production Prediction.....	26
4.3.19	Sand Production Prediction.....	26
4.3.20	Sand Production Prediction.....	26
4.3.21	Sand Production Prediction.....	26
4.3.22	Sand Production Prediction.....	26
4.3.23	Sand Production Prediction.....	26
4.3.24	Sand Production Prediction.....	26
4.3.25	Sand Production Prediction.....	26
4.3.26	Sand Production Prediction.....	26
4.3.27	Sand Production Prediction.....	26
4.3.28	Sand Production Prediction.....	26
4.3.29	Sand Production Prediction.....	26
4.3.30	Sand Production Prediction.....	26
4.3.31	Sand Production Prediction.....	26
4.3.32	Sand Production Prediction.....	26
4.3.33	Sand Production Prediction.....	26
4.3.34	Sand Production Prediction.....	26
4.3.35	Sand Production Prediction.....	26
4.3.36	Sand Production Prediction.....	26
4.3.37	Sand Production Prediction.....	26
4.3.38	Sand Production Prediction.....	26
4.3.39	Sand Production Prediction.....	26
4.3.40	Sand Production Prediction.....	26
4.3.41	Sand Production Prediction.....	26
4.3.42	Sand Production Prediction.....	26
4.3.43	Sand Production Prediction.....	26
4.3.44	Sand Production Prediction.....	26
4.3.45	Sand Production Prediction.....	26
4.3.46	Sand Production Prediction.....	26
4.3.47	Sand Production Prediction.....	26
4.3.48	Sand Production Prediction.....	26
4.3.49	Sand Production Prediction.....	26
4.3.50	Sand Production Prediction.....	26
4.3.51	Sand Production Prediction.....	26
4.3.52	Sand Production Prediction.....	26
4.3.53	Sand Production Prediction.....	26
4.3.54	Sand Production Prediction.....	26
4.3.55	Sand Production Prediction.....	26
4.3.56	Sand Production Prediction.....	26
4.3.57	Sand Production Prediction.....	26
4.3.58	Sand Production Prediction.....	26
4.3.59	Sand Production Prediction.....	26
4.3.60	Sand Production Prediction.....	26
4.3.61	Sand Production Prediction.....	26
4.3.62	Sand Production Prediction.....	26
4.3.63	Sand Production Prediction.....	26
4.3.64	Sand Production Prediction.....	26
4.3.65	Sand Production Prediction.....	26
4.3.66	Sand Production Prediction.....	26
4.3.67	Sand Production Prediction.....	26
4.3.68	Sand Production Prediction.....	26
4.3.69	Sand Production Prediction.....	26
4.3.70	Sand Production Prediction.....	26
4.3.71	Sand Production Prediction.....	26
4.3.72	Sand Production Prediction.....	26
4.3.73	Sand Production Prediction.....	26
4.3.74	Sand Production Prediction.....	26
4.3.75	Sand Production Prediction.....	26
4.3.76	Sand Production Prediction.....	26
4.3.77	Sand Production Prediction.....	26
4.3.78	Sand Production Prediction.....	26
4.3.79	Sand Production Prediction.....	26
4.3.80	Sand Production Prediction.....	26
4.3.81	Sand Production Prediction.....	26
4.3.82	Sand Production Prediction.....	26
4.3.83	Sand Production Prediction.....	26
4.3.84	Sand Production Prediction.....	26
4.3.85	Sand Production Prediction.....	26
4.3.86	Sand Production Prediction.....	26
4.3.87	Sand Production Prediction.....	26
4.3.88	Sand Production Prediction.....	26
4.3.89	Sand Production Prediction.....	26
4.3.90	Sand Production Prediction.....	26
4.3.91	Sand Production Prediction.....	26
4.3.92	Sand Production Prediction.....	26
4.3.93	Sand Production Prediction.....	26
4.3.94	Sand Production Prediction.....	26
4.3.95	Sand Production Prediction.....	26
4.3.96	Sand Production Prediction.....	26
4.3.97	Sand Production Prediction.....	26
4.3.98	Sand Production Prediction.....	26
4.3.99	Sand Production Prediction.....	26
4.3.100	Sand Production Prediction.....	26
5	.....	.....
5.1	.....	.....
5.2	.....	.....
5.3	.....	.....
5.4	.....	.....
5.5	.....	.....
5.6	.....	.....
5.7	.....	.....
5.8	.....	.....
5.9	.....	.....
5.10	.....	.....
5.11	.....	.....
5.12	.....	.....
5.13	.....	.....
5.14	.....	.....
5.15	.....	.....
5.16	.....	.....
5.17	.....	.....
5.18	.....	.....
5.19	.....	.....
5.20	.....	.....
5.21	.....	.....
5.22	.....	.....
5.23	.....	.....
5.24	.....	.....
5.25	.....	.....
5.26	.....	.....
5.27	.....	.....
5.28	.....	.....
5.29	.....	.....
5.30	.....	.....
5.31	.....	.....
5.32	.....	.....
5.33	.....	.....
5.34	.....	.....
5.35	.....	.....
5.36	.....	.....
5.37	.....	.....
5.38	.....	.....
5.39	.....	.....
5.40	.....	.....
5.41	.....	.....
5.42	.....	.....
5.43	.....	.....
5.44	.....	.....
5.45	.....	.....
5.46	.....	.....
5.47	.....	.....
5.48	.....	.....
5.49	.....	.....
5.50	.....	.....
5.51	.....	.....
5.52	.....	.....
5.53	.....	.....
5.54	.....	.....
5.55	.....	.....
5.56	.....	.....
5.57	.....	.....
5.58	.....	.....
5.59	.....	.....
5.60	.....	.....
5.61	.....	.....
5.62	.....	.....
5.63	.....	.....
5.64	.....	.....
5.65	.....	.....
5.66	.....	.....
5.67	.....	.....
5.68	.....	.....
5.69	.....	.....
5.70	.....	.....
5.71	.....	.....
5.72	.....	.....
5.73	.....	.....
5.74	.....	.....
5.75	.....	.....
5.76	.....	.....
5.77	.....	.....
5.78	.....	.....
5.79	.....	.....
5.80	.....	.....
5.81	.....	.....
5.82	.....	.....
5.83	.....	.....
5.84	.....	.....
5.85	.....	.....
5.86	.....	.....
5.87	.....	.....
5.88	.....	.....
5.89	.....	.....
5.90	.....	.....
5.91	.....	.....
5.92	.....	.....
5.93	.....	.....
5.94	.....	.....
5.95	.....	.....
5.96	.....	.....
5.97	.....	.....
5.98	.....	.....
5.99	.....	.....
5.100	.....	.....
6	.....	.....
6.1	.....	.....
6.2	.....	.....
6.3	.....	.....
6.4	.....	.....
6.5	.....	.....
6.6	.....	.....
6.7	.....	.....
6.8	.....	.....
6.9	.....	.....
6.10	.....	.....
6.11	.....	.....
6.12	.....	.....
6.13	.....	.....
6.14	.....	.....
6.15	.....	.....
6.16	.....	.....
6.17	.....	.....
6.18	.....	.....
6.19	.....	.....
6.20	.....	.....
6.21	.....	.....
6.22	.....	.....
6.23	.....	.....
6.24	.....	.....
6.25	.....	.....
6.26	.....	.....
6.27	.....	.....
6.28	.....	.....
6.29	.....	.....
6.30	.....	.....
6.31	.....	.....
6.32	.....	.....
6.33	.....	.....
6.34	.....	.....
6.35	.....	.....
6.36	.....	.....
6.37	.....	.....
6.38	.....	.....
6.39	.....	.....
6.40	.....	.....
6.41	.....	.....
6.42	.....	.....
6.43	.....	.....
6.44	.....	.....
6.45	.....	.....
6.46	.....	.....
6.47	.....	.....
6.48	.....	.....
6.49	.....	.....
6.50	.....	.....
6.51	.....	.....
6.52	.....	.....
6.53	.....	.....
6.54	.....	.....
6.55	.....	.....
6.56	.....	.....
6.57	.....	.....
6.58	.....	.....
6.59	.....	.....
6.60	.....	.....
6.61	.....	.....
6.62	.....	.....
6.63	.....	.....
6.64	.....	.....
6.65	.....	.....
6.66	.....	.....
6.67	.....	.....
6.68	.....	.....
6.69	.....	.....
6.70	.....	.....
6.71	.....	.....
6.72	.....	.....
6.73	.....	.....
6.74	.....	.....
6.75	.....	.....
6.76	.....	.....
6.77	.....	.....
6.78	.....	.....
6.79	.....	.....
6.80	.....	.....
6.81	.....	.....
6.82	.....	.....
6.83	.....	.....
6.84	.....	.....
6.85	.....	.....
6.86	.....	.....
6.87	.....	.....
6.88	.....	.....
6.89	.....	.....
6.90	.....	.....
6.91	.....	.....
6.92	.....	.....
6.93	.....	.....
6.94	.....	.....
6.95	.....	.....
6.96	.....	.....
6.97	.....	.....
6.98	.....	.....
6.99	.....	.....
6.100	.....	.....
7	RESPONSE TO OBSERVED EXCESSIVE SAND PRODUCTION.....	41
7.1	Decision Trees: Short, Medium and Long term operational responses.....	42
8	REMEDIAL COMPLETION OPTIONS FOR CASED AND PERFORATED COMPLETIONS.....	46

**Цена вопроса -
успешная реализация проекта стоимостью 22
млрд долл.**



Скважины Лунского месторождения: пусковая конфигурация



Очистка скважин на платформе Лун-А, декабрь 2008 г.

Выводы по увеличению дебита с помощью штуцера (Bean-up)

- Отсутствие происшествий или аварий
- По каждой скважине:
 - уровень добычи газа составил 350 млн ст. куб. ф/сутки, или 10 млн куб. м/сутки;
 - практически отсутствуют пескопроявления (около полстакана).
- Газовые скважины Лунского месторождения являются:
 - крупнейшими в России;
 - крупнейшими в мире при добыче на шельфе.

Выводы

- Использование хвостовика с предварительной перфорацией дает слишком большой вынос песка.
- Новая программа прогнозирования пескопроявлений позволяет определить момент появления песка в скважине и его объемы.
- Предпочтительным новым вариантом заканчивания скважин является обсаженный забой с выборочной перфорацией:
 - Появление пескопроявлений ожидается не ранее 2025 года.
 - Более низкие и контролируемые уровни выноса песка.
- Проведена количественная оценка риска.
- Предусмотрен план по контролю пескопроявлений на Лунском месторождении для снижения риска.

Заключение

- Скважины с обсаженным и выборочно перфорированным забоем имеют показатели мирового уровня и обеспечивают:
 - максимальный дебит газовых скважин;
 - минимальный вынос песка.



Благодарность

Автор выражает признательность своим коллегам, принимавшим непосредственное участие в этой работе:

- Дэвид Браун, Йерун Веберс, Кристофер Зебст («Сахалин Энерджи»), Филипп Брассар, Хамед Субхи и Тони Эддис («Шелл»),

а также акционерам, финансировавшим эту работу:

- ОАО «Газпром»
- «Шелл»
- «Мицуи»
- «Мицубиси»



Ответы на вопросы?



Использованные публикации

- SPE 116713: Количественная оценка выноса песка и ее влияние на выбор схемы заканчивания в, конструкцию промысловых объектов и оценку риска.
- SPE 112099: Использование количественной оценки риска при осуществлении процесса контроля пескопроявления в высокодебитных газовых скважинах платформы «Лунская-А».
- SPE 114805: Опыт комплексного применения новых технологий разработки месторождений при реализации проекта «Сахалин-2».