



# ***Математические основы цифрового месторождения***

**Институт вычислительной математики и  
математической геофизики СО РАН**

Проспект академика Лаврентьева, 6,  
630090, Новосибирск, Россия

Телефон: +7 (383) 330 83 53

Факс: +7 (383) 330 87 83, +7 (383) 330 66 87

E-mail: [director@sscc.ru](mailto:director@sscc.ru)

# Площадная система наблюдений

Большинство известных из мировой практики работ по площадным системам нашли применение в относительно сложных сейсмогеологических условиях.

Как правило, применяемые системы являются регулярными, а расстояние между точками наблюдений обычно **50 м** или **25 м**.

Известны примеры и более густых сеток пространственных наблюдений в случае детальных работ.

Контроль за разработкой месторождений углеводородов в штате Луизиана (США): шаг между точками **10 м**.

Разведка на уголь в Рурском бассейне (Германия): шаг между точками **2.5 м**.

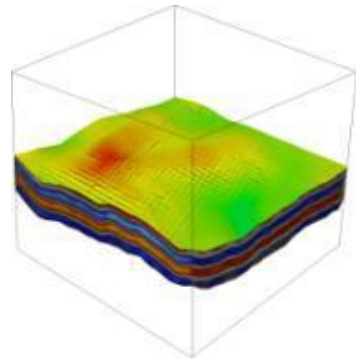
Реализована технология по определению сейсмических параметров среды по данным площадной системы наблюдения **без решения прямой задачи**.

# Обработка данных сейсморазведки

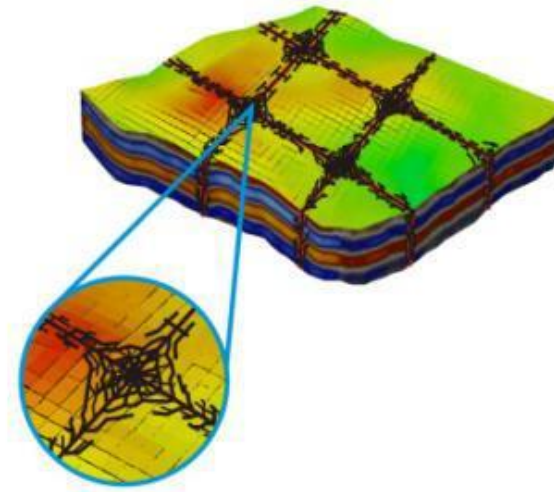
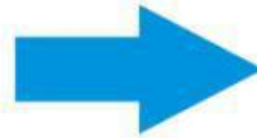
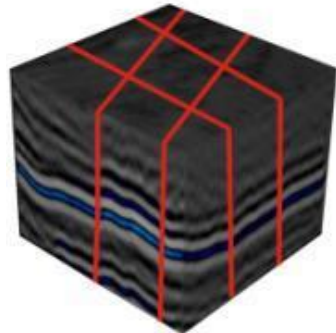
Технология обработки данных сейсморазведки и трехмерного комплексного моделирования, включая геомеханическое, позволяющая выделять в отдельных геологических объектах, главным образом в фундаменте, трещиноватые зоны и строить сеть разломных структур для выбора точек заложения скважин. В настоящее время эта технология подтверждена на многих месторождениях успешным бурением.

Если бурить в трещиноватую зону, получаем хороший дебит и долговременную продуктивность, если не угадали, то либо сухая скважина, либо очень быстро падающая продуктивность.

Стандартная геологическая модель



Процедуры картирования, расчета и классификации природных каналов фильтрации



Каналы фильтрации – высокопродуктивные зоны образовавшиеся в результате естественного разрушения массивов горных пород (системы трещиноватости)

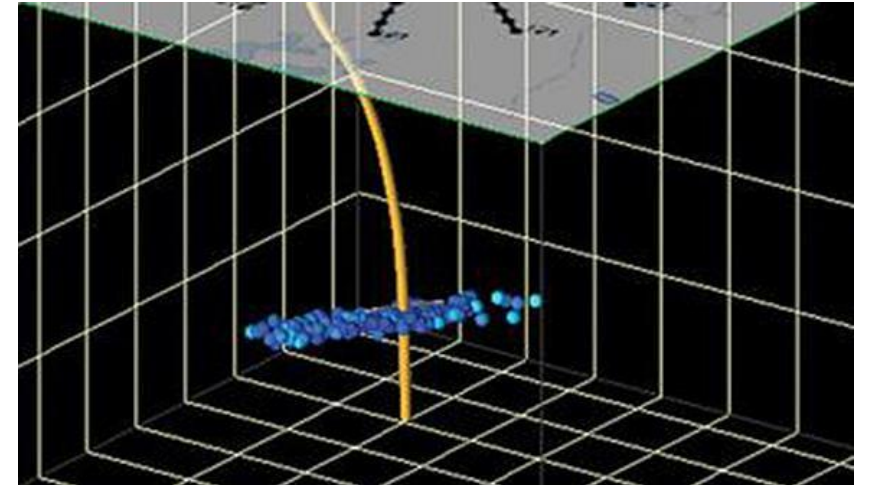
# Микросейсмический мониторинг

Микросейсмический мониторинг является инновационной технологией контроля гидроразрыва пласта (ГРП).

Микросейсмика позволяет определять геометрию ГРП на достаточно больших расстояниях от места наблюдения (в скважинах или на поверхности), а также получать диагностические 3D изображения в процессе образования и развития разрыва.

Суть микросейсмического мониторинга заключается в регистрации сейсмоэмиссионных процессов, сопровождающих образование трещинной зоны ГРП. Технология позволяет получать данные для оперативной коррекции дизайна ГРП, минимизировать риски и оптимизировать увеличение отбора углеводородов при вовлечении в разработку трудноизвлекаемых запасов.

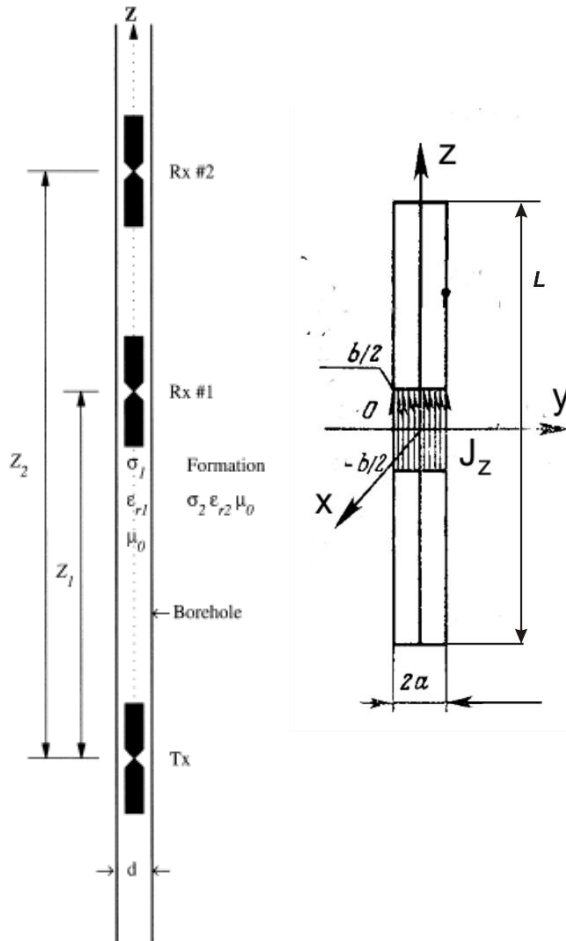
**Тензорное разложение: увеличение размера сетки на порядок по каждой переменной, уменьшение требования к памяти в несколько раз, возможность ведения мониторинга ГРП в реальном времени.**



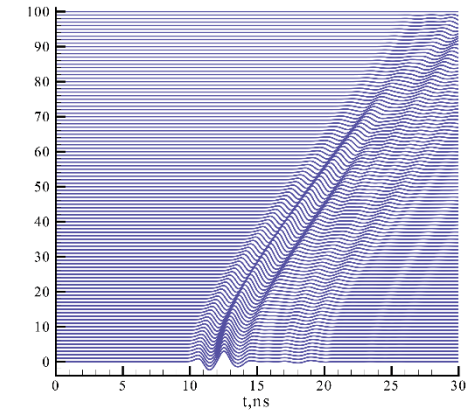
# Электрокаротаж околоскважинного пространства

Разработана теория и создан метод определения диэлектрической проницаемости и проводимости в околоскважинном пространстве с учетом границ раздела сред с разными электромагнитными параметрами.

Реализован комплекс программ определения электромагнитных параметров среды на основе метаэвристических алгоритмов глобальной оптимизации.



Аномальное поле – две границы



# Мониторинг скважин и месторождения

В России эксплуатируется около ста тысяч скважин.

Установка специального оборудования, позволяющего осуществлять постоянный мониторинг работы скважин, процесс очень сложный и дорогостоящий.

Мониторинг реализован на стандартной телеметрии погружного насоса (датчики давления и температуры).

- **Повышение производительности скважины:**

Оперативность информации – существенный фактор при принятии решений о возможности увеличения производительности скважины. Делается прогнозирование о зонах образования парафиновых и газогидратных пробок.

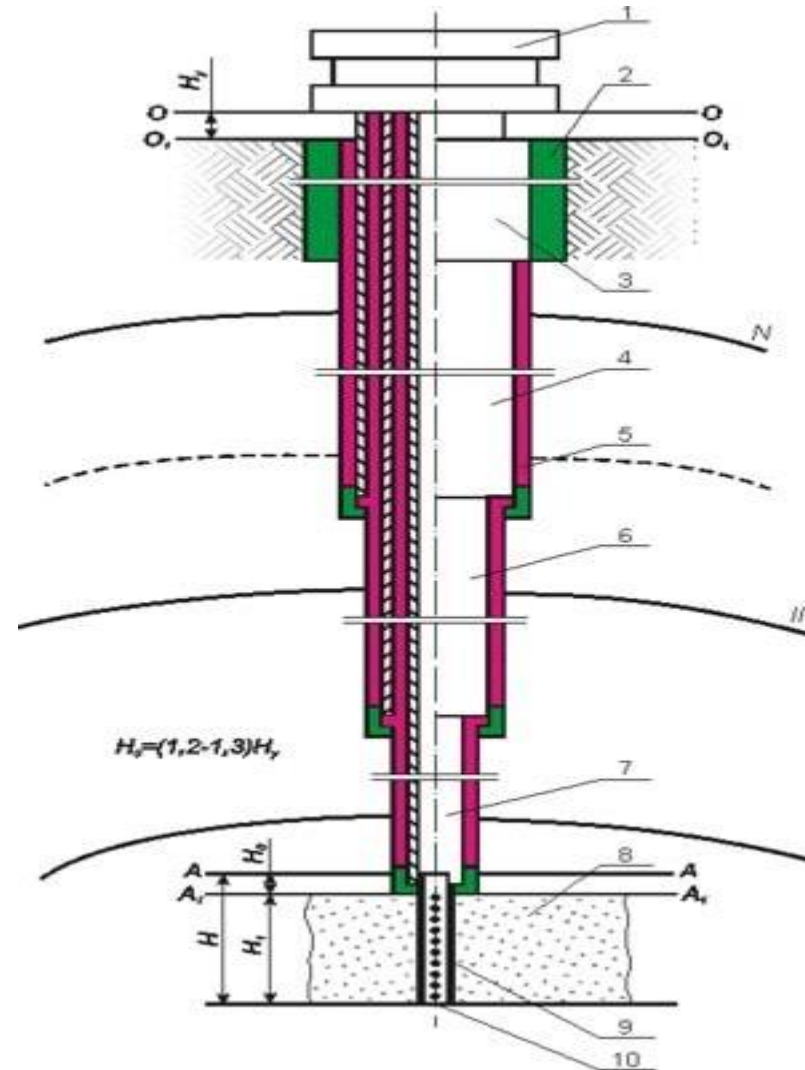
- **Увеличение отдачи пласта резервуара:**

Контроль и регулирование режима работы скважин в процессе добычи, позволяют оптимизировать процесс извлечения углеводородов из нефтегазоносного пласта резервуара. На основе накопленных данных измерений в реальном времени делается прогнозирование дальнейшей стратегии эксплуатации отдельной скважины и резервуара в целом.

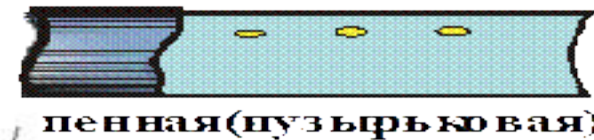
# Мониторинг действующих скважин и месторождения

Обратная задача: определить дебет, обводненность и газовый фактор по измерениям давления и температуры в забое и устье скважины с учетом режима и структуры течения, двухфазности (дегазация).

Выработка рекомендаций по скважинам для регулирования режимов работы системы ППД

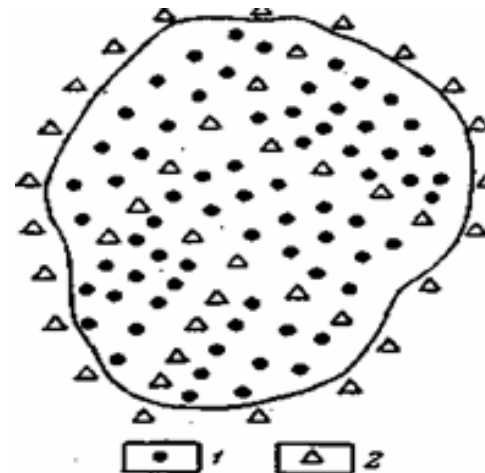
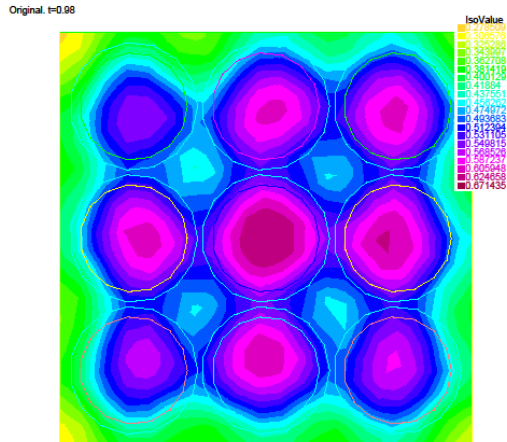


- 1 - трубная головка;
- 2 - цементный стакан;
- 3 - направление;
- 4 - кондуктор;
- 5 - ВПТС;
- 6 - промежуточная колонна;
- 7 - эксплуатационная колонна;
- 8 - продуктивный пласт;
- 9 - телескопическое устройство;
- 10 - забой;
- A-A - первоначальное положение кровли пласта толщиной  $H_1$ ;
- A<sub>1</sub>-A<sub>1</sub> - положение кровли пласта после ее уплотнения до толщины  $H_2$ ;
- I, II, ..., N - слои (поверхности) отрыва пород при их опускании.



# Мониторинг скважин и месторождения

- Определение пластовых параметров по измерению давления внутри скважин месторождения.
- Решена обратная задача по определению коэффициента фильтрации по данным давления заданного в нагнетающих и добывающих скважинах.
- Решена задача оптимизации размещения дополнительных нагнетающих и добывающих скважин с учетом полученных данных при решении обратной задачи.

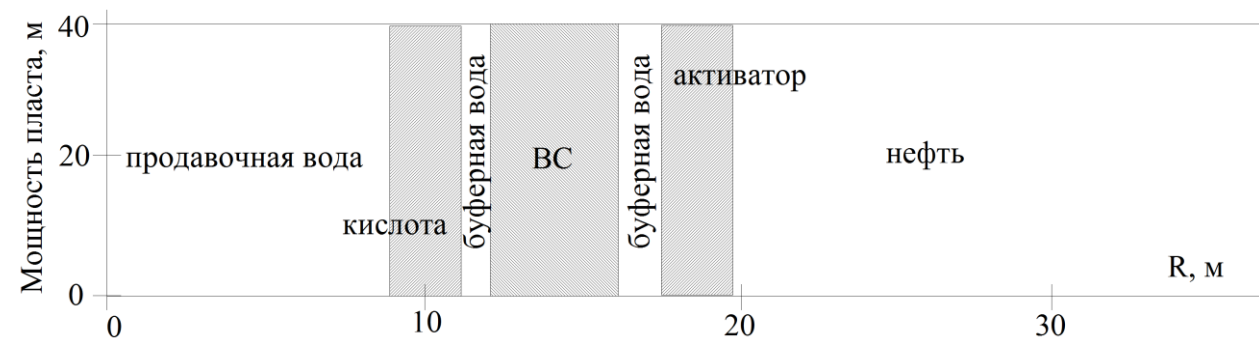




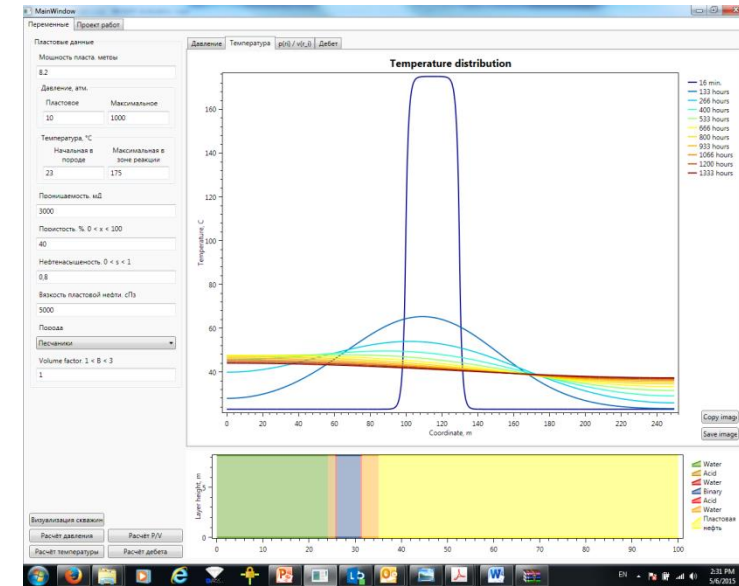
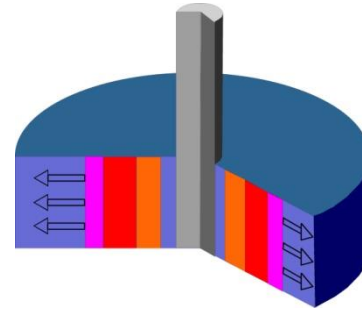
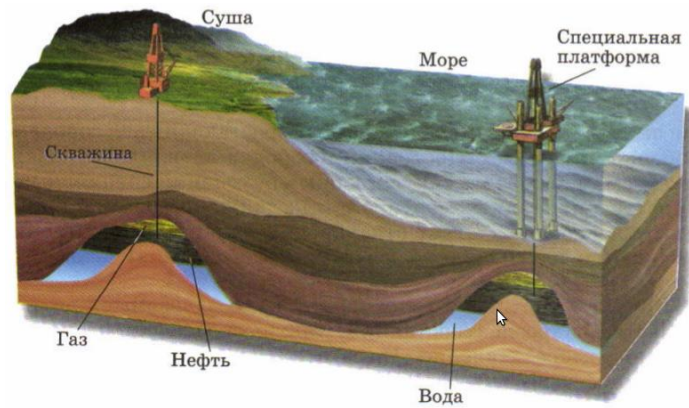
# Повышение нефтеотдачи пластов с применением технологии термогазохимического воздействия бинарного состава на скважинах

Одной из основных задач современной разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений является повышение нефтеотдачи пластов.

Доля трудноизвлекаемых запасов нефти в мире непрерывно растет и новые методы по их добыче становятся все более востребованными. Основным средством воздействия на месторождения с высоковязкими нефтями является тепло, закачиваемое в продуктивный пласт. Масштабный прогрев продуктивного пласта экономически и технологически должен быть выгоден, т.к. нагрев нефти приводит к многократному снижению вязкости и повышению подвижности нефти. Соответственно, производительность добываемой продукции может возрасти в несколько раз.



# Повышение нефтеотдачи пластов с применением технологии термогазохимического воздействия бинарного состава на скважинах

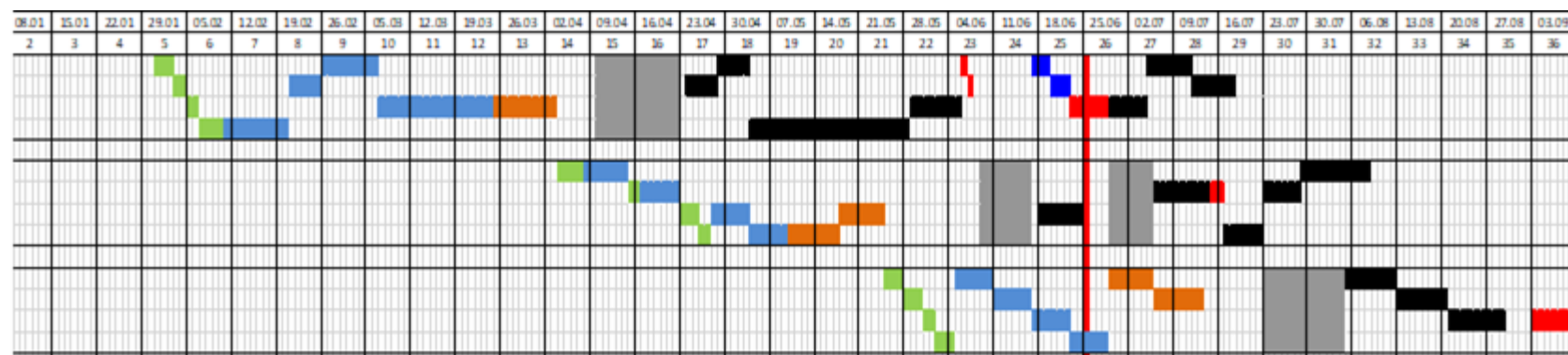


Технология ТХВС БС предусматривает воздействие на призабойную и удаленную зону продуктивного пласта нагнетанием в скважину раствора неорганических солей бинарного состава, с последующим инициированием реакции разложения бинарного состава внутри порово-трещиноватых коллекторов закачкой в пласт растворов неорганических, органических кислот и формальдегидов. В результате разложения компонентов бинарного состава генерируется высокая температура (до 300-320С) и давление, что в комплексе способствует прогреву горной породы и высоковязких углеводородов, и созданию вторичной сетки трещин в продуктивном пласте

## Разработка месторождений

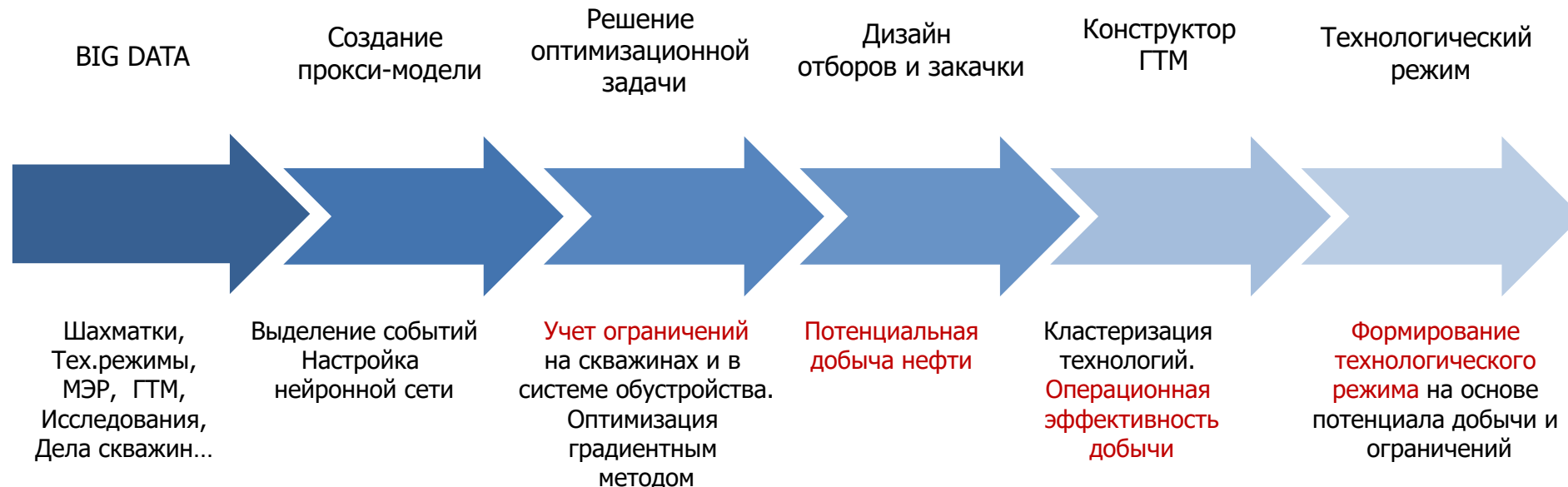
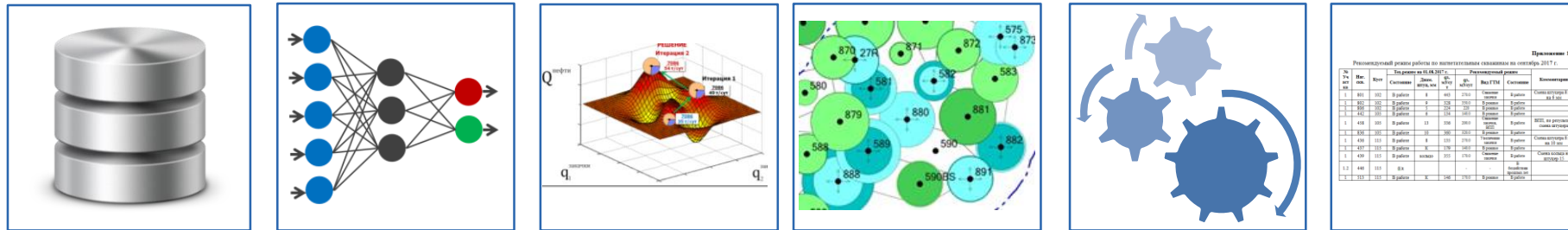
- На нефтяных и газовых месторождениях на сегодняшний день активно используется кустовое бурение с бурением нескольких типов скважин
- Сложившаяся буровая практика зачастую требует оптимизации работы бригад буровой, ГРП, ГНКТ, освоения и др. для того, чтобы достичь нескольких целевых показателей в рамках одного планируемого года, например:
  - Максимизация добычи до конца года;
  - Минимизация временных затрат на ввод скважин в эксплуатацию.
- По каждой скважине есть расчетный пусковой дебит и планируемая добыча до конца года по бизнес-плану, необходимо рассчитать и сохранить расчет в БД по текущей дате запуска скважины, либо предоставить в виде текстовых данных

- - бурение направления
- - бурение эксплуатационной колонны
- - бурение хвостовика
- - обвязка скважин
- - освоение
- - проведение ГРП
- - работа ГНКТ



# Технологический режим скважин

## ИНТЕГРАЦИЯ ЦИФРОВЫХ РЕШЕНИЙ В ПРОЦЕСС ФОРМИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ СКВАЖИН



Приложение 1  
Результаты работы по автоматизации скважин на скважинах 2017 г.

№ скважины	Иск. Кот.	Состояние	Тех.режим		Функциональный режим		Комментарий	
			Добыча, т/сут	Вязкость, мПа·с	Вязкость, мПа·с	Состояние		
1	881	100	В работе	8	400	2750	В работе	Скважина в работе
2	882	100	В работе	8	400	2750	В работе	В работе
3	883	100	В работе	8	400	2750	В работе	В работе
4	884	100	В работе	8	400	2750	В работе	В работе
5	885	100	В работе	8	400	2750	В работе	В работе
6	886	100	В работе	8	400	2750	В работе	В работе
7	887	100	В работе	8	400	2750	В работе	В работе
8	888	100	В работе	8	400	2750	В работе	В работе
9	889	100	В работе	8	400	2750	В работе	В работе
10	890	100	В работе	8	400	2750	В работе	В работе
11	891	100	В работе	8	400	2750	В работе	В работе
12	892	100	В работе	8	400	2750	В работе	В работе
13	893	100	В работе	8	400	2750	В работе	В работе
14	894	100	В работе	8	400	2750	В работе	В работе
15	895	100	В работе	8	400	2750	В работе	В работе
16	896	100	В работе	8	400	2750	В работе	В работе
17	897	100	В работе	8	400	2750	В работе	В работе
18	898	100	В работе	8	400	2750	В работе	В работе
19	899	100	В работе	8	400	2750	В работе	В работе
20	900	100	В работе	8	400	2750	В работе	В работе
21	901	100	В работе	8	400	2750	В работе	В работе
22	902	100	В работе	8	400	2750	В работе	В работе
23	903	100	В работе	8	400	2750	В работе	В работе
24	904	100	В работе	8	400	2750	В работе	В работе
25	905	100	В работе	8	400	2750	В работе	В работе
26	906	100	В работе	8	400	2750	В работе	В работе
27	907	100	В работе	8	400	2750	В работе	В работе
28	908	100	В работе	8	400	2750	В работе	В работе
29	909	100	В работе	8	400	2750	В работе	В работе
30	910	100	В работе	8	400	2750	В работе	В работе

# Визуализация на основе платформы цифрового Земного шара



- База данных по всем месторождениям России и анализ данных.
- Детализация зависит от цифровой подложки, которая отвечает за данную местность.
- Есть возможность вращения и приближения объектов.
- Динамическое подключение любых математических библиотек для расчета скважин и месторождения.

Спасибо за внимание!