

*Виртуальная колонка.
Как геологическая модель и
искусственный интеллект
предсказывают геологию,
можно ли им верить
и нужно ли бурить в крупных городах*

Роман Жидков

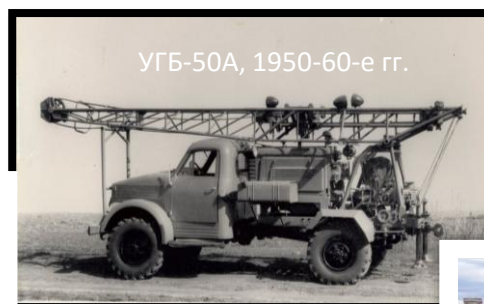
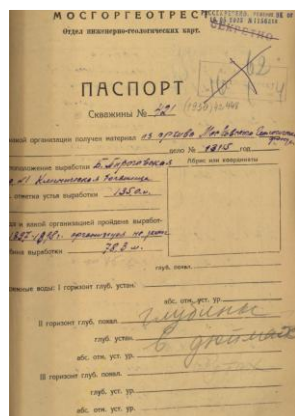
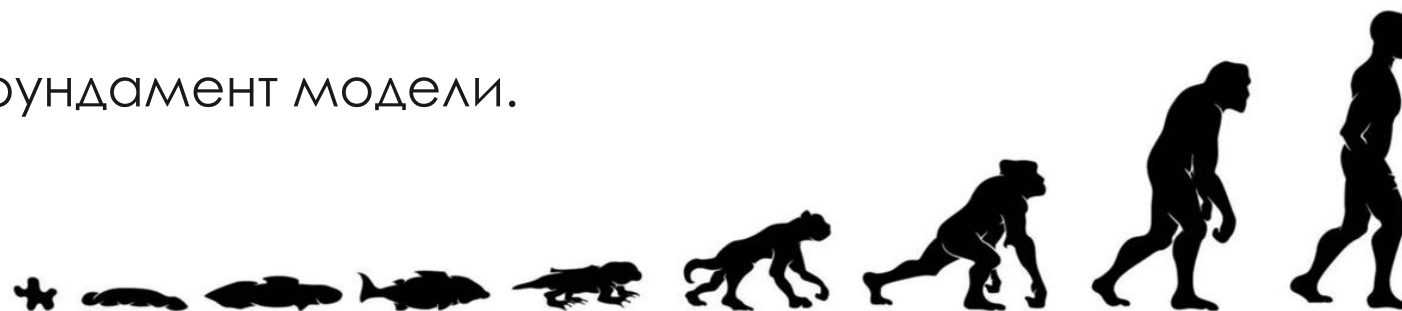
*Главный инженер Управления
цифровой картографии*

ТБУ «Мосгоргеотрест»



Путь геологии ГБУ «Мосгоргеотрест»: Накопление архива данных

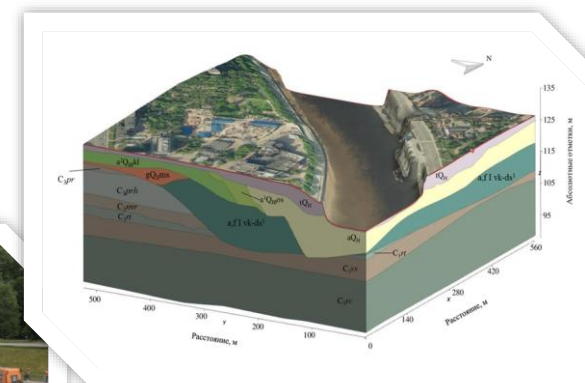
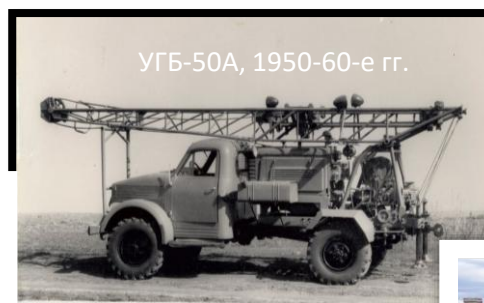
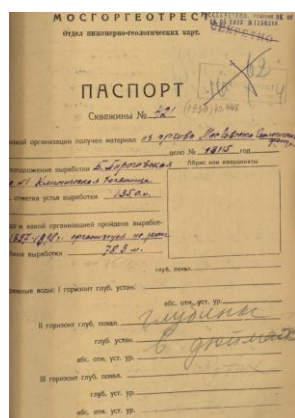
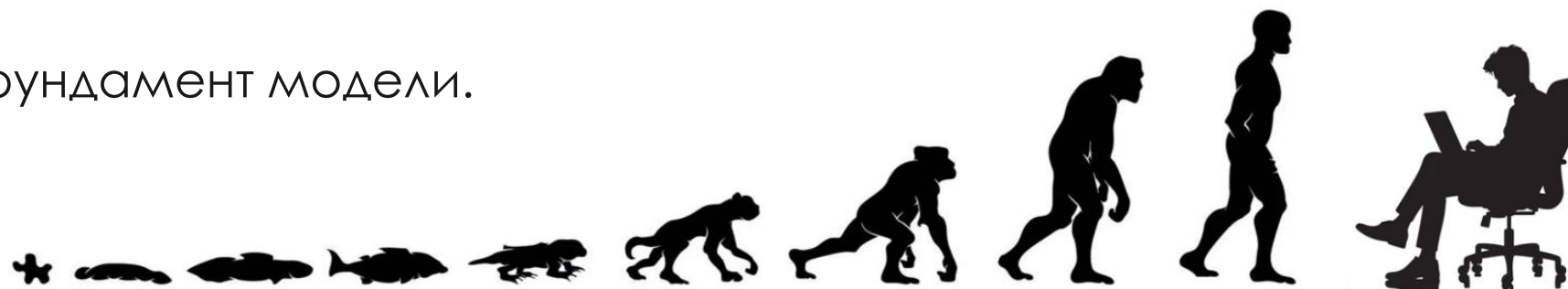
Архив изысканий – фундамент модели.



> 80 лет изысканий ГБУ «Мосгоргеотрест»

Путь геологии ГБУ «Мосгоргеотрест»: Накопление архива данных

Архив изысканий – фундамент модели.



> 80 лет изысканий ГБУ «Мосгоргеотрест»

Создание архивно-цифровой базы данных



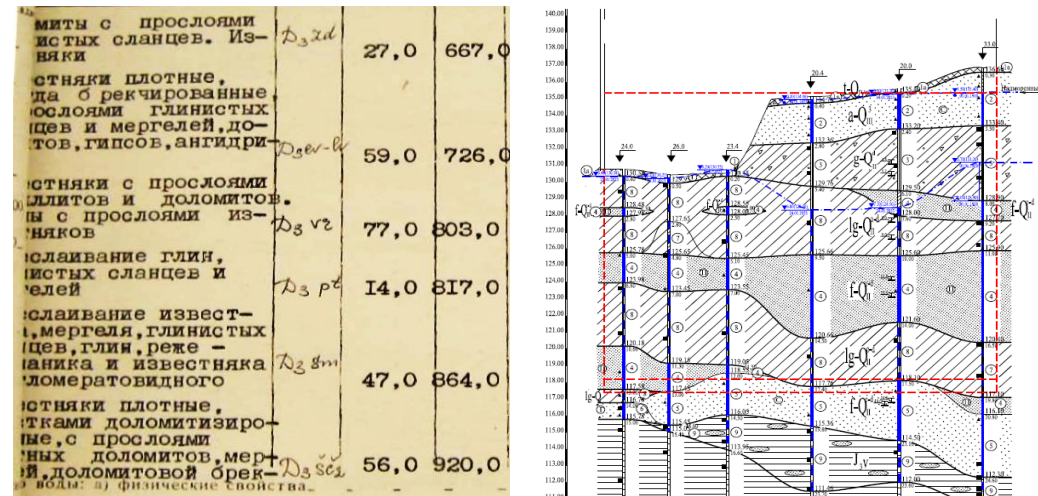
В архиве ГБУ «Мосгоргеотрест»:

>1 000 000

горных выработок
(скважин, шурфов)

>200 000

отчетов по инженерно-
геологическим изысканиям



В электронной базе данных:

>200 000

описаний горных выработок

>14 000

полевых испытаний

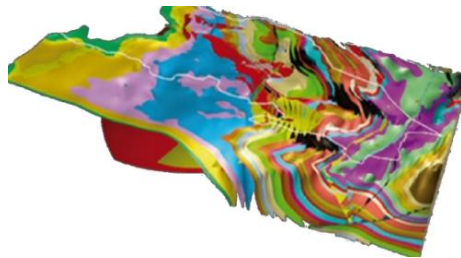
>140 000

лабораторных испытаний

Виртуальная инженерно-геологическая колонка

Сервис, позволяющий получить описание геологии на основе модельной информации в любой точке

Стратиграфическая
модель



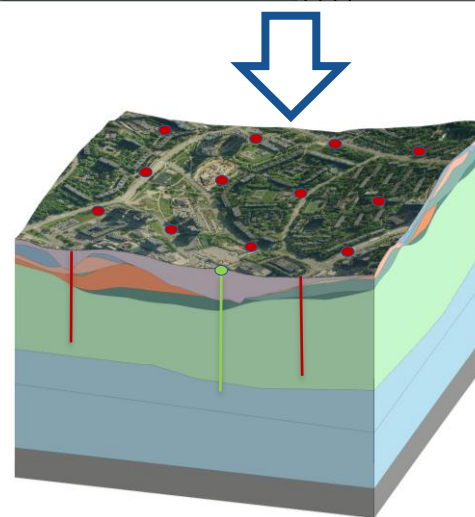
возраст и происхождение
грунтов, например:

- ледниковые отложения
- отложения поймы
- болотные отложения

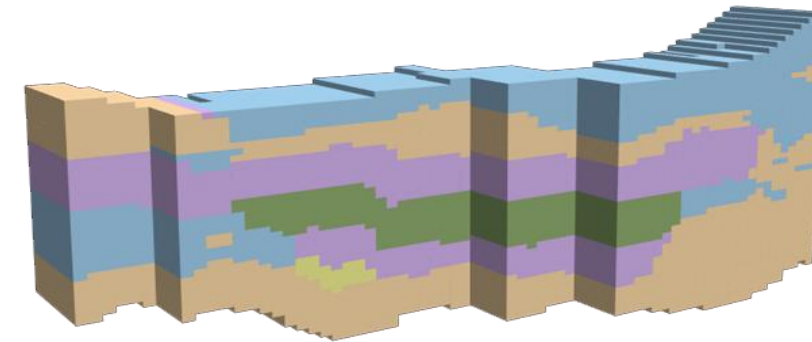
позволяет принимать
решения на основе
косвенных выводов

3 уровня детализации

| Подошва (глубина) | Абс. отм. | Мощн. | Стратиграфия | Литология |
|----------------------|--------------|-------|--------------|---|
| 2.0 | 132.07 | 2.00 | t-QIV | Супеси с включениями |
| 3.0 | 131.07 | 1.00 | a-QIII2 | Пески средней крупности средней плотности |
| 5.5 | 128.57 | 2.50 | a-QIII2 | крупные средней плотности |
| 11.7 | 122.37 | 6.20 | f-QIIId-ms | Пески средней крупности средней плотности |
| 12.1 | 121.97 | 0.40 | f-QIIId-ms | Глины мягкопластичные |
| 12.8 | 121.27 | 0.70 | f-QIIId-ms | Пески средней крупности средней плотности |
| 15.0 | 119.07 | 2.20 | f-QIIId-ms | Пески пылеватые плотные |
| 19.7 | 114.37 | 4.70 | f-QIIId-ms | Пески мелкие средней плотности |
| 20.0 | 114.07 | 0.30 | f-QIIId-ms | Пески пылеватые средней плотности |

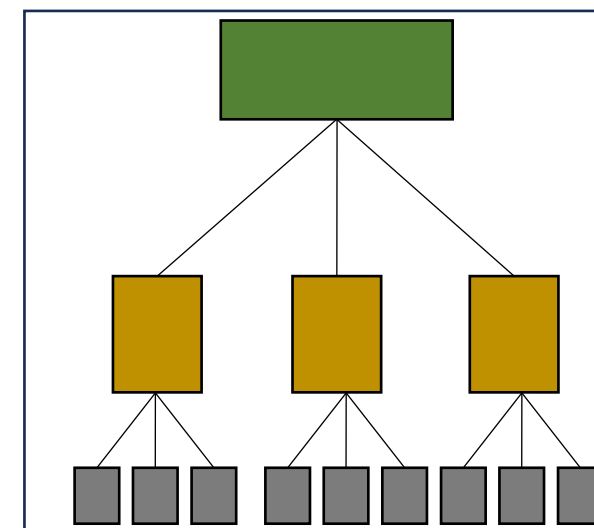


Литологическая и
инженерно-
геологические
модели



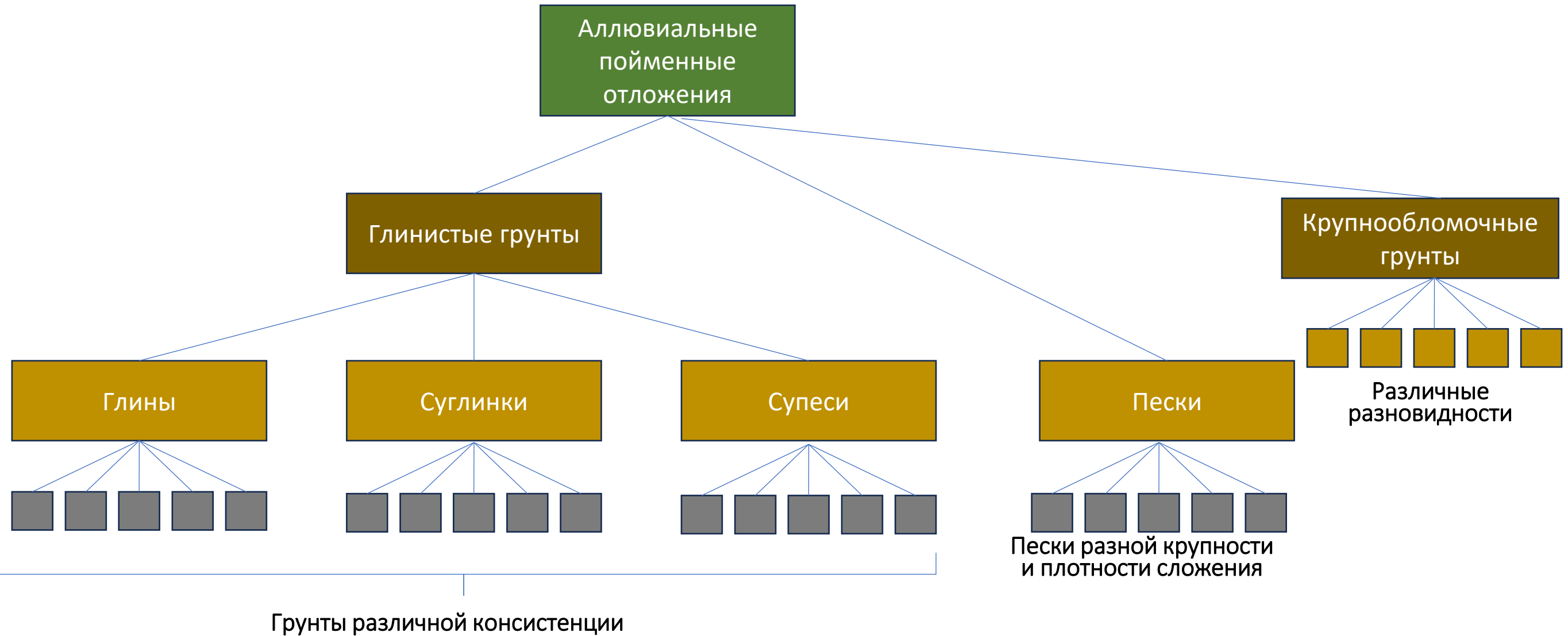
Положение литотипов (песок,
суглинок, известняк) с указанием
их классификационных
характеристик (консистенция,
прочность, плотность сложения)

Принцип иерархичности данных



Результаты прогноза на верхнем уровне используются в качестве входных данных для частных моделей

Принцип иерархичности данных

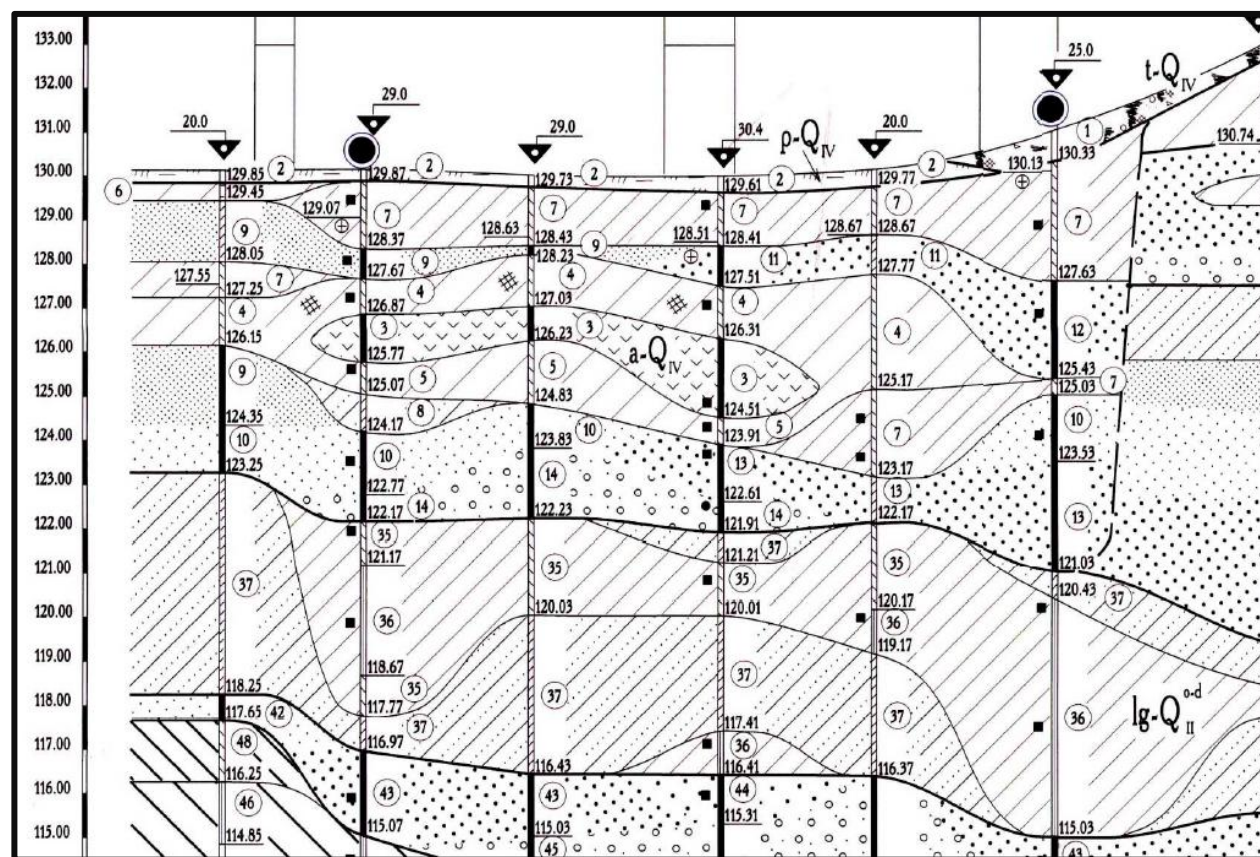


Технология построения виртуальной стратиграфической модели

| Отложения | Особенности моделирования |
|--|--|
| Техногенные отложения | Учет погребенного рельефа земной поверхности |
| Покровные, болотные отложения | Совместное моделирование по мощности и абсолютным отметкам с контролем «раздутия» мощности |
| Отложения долинного комплекса | Учет границ геоморфологических элементов, построение эрозионных врезов |
| Отложения ледникового и доледникового комплекса | Моделирование последовательного напластования |
| Базовые поверхности (дочетвертичные отложения, кровля каменноугольных отложений) | Последовательное расчленение, использование модельных поверхностей, основанных на ручной рисовке в зонах дефицита данных |
| Отложения морского генезиса (MZ, C) | Моделирование, основанное на принципах субгоризонтального согласного залегания |
| Континентальные юрские отложение | Моделирование процесса заполнения понижений в рельефе каменноугольных отложений |

Построение литологической и инженерно-геологической моделей на основе технологий машинного обучения

Фрагмент инженерно-геологического разреза



иллюстрирует литологическую пестроту
пойменных отложений

Условные обозначения

| | | | |
|---|-----------------------|---|---------------------------|
|  | Насыпной грунт |  | Песок средней крупности |
|  | Растительный слой |  | Песок гравелистый |
|  | Суглинок четвертичный |  | Суглинок юрский |
|  | Глина четвертичная |  | Глина юрская |
|  | Супесь |  | Органическое вещество |
|  | Торф |  | Граница литологическая |
|  | Песок пылеватый |  | Граница предполагаемая |
|  | Песок мелкий |  | Граница стратиграфическая |

Построение литологической и инженерно-геологической моделей на основе технологий машинного обучения

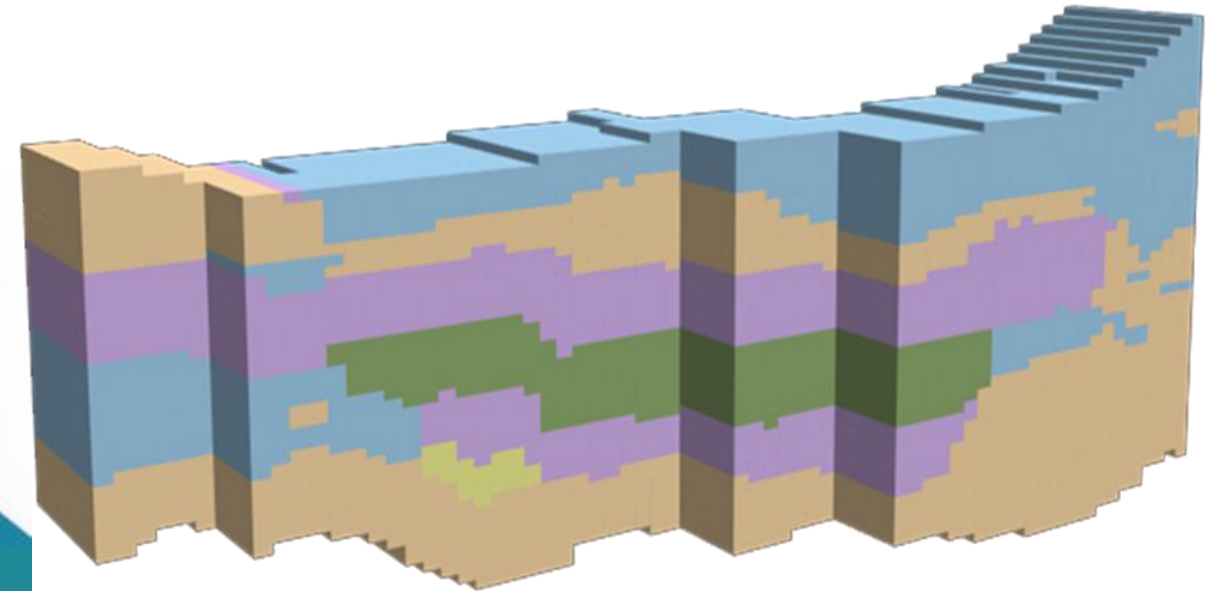


- Random Forest
- Gradient Boosting
- Support Vector Classifier
- Logistic Regression



- Возможность многофакторного анализа
- Возможность описания очень сложно формализуемых процессов
- Повышение качества предсказания по мере накопления данных
- Решение как задачи классификации (тип грунтов), так и задачи регрессии (прогноз значения числа пластичности в точке)
- Необходимость оценки качества на контрольной выборке
- Необходимость контроля соответствия входным данным

Построение литологической и инженерно-геологической моделей на основе технологий машинного обучения



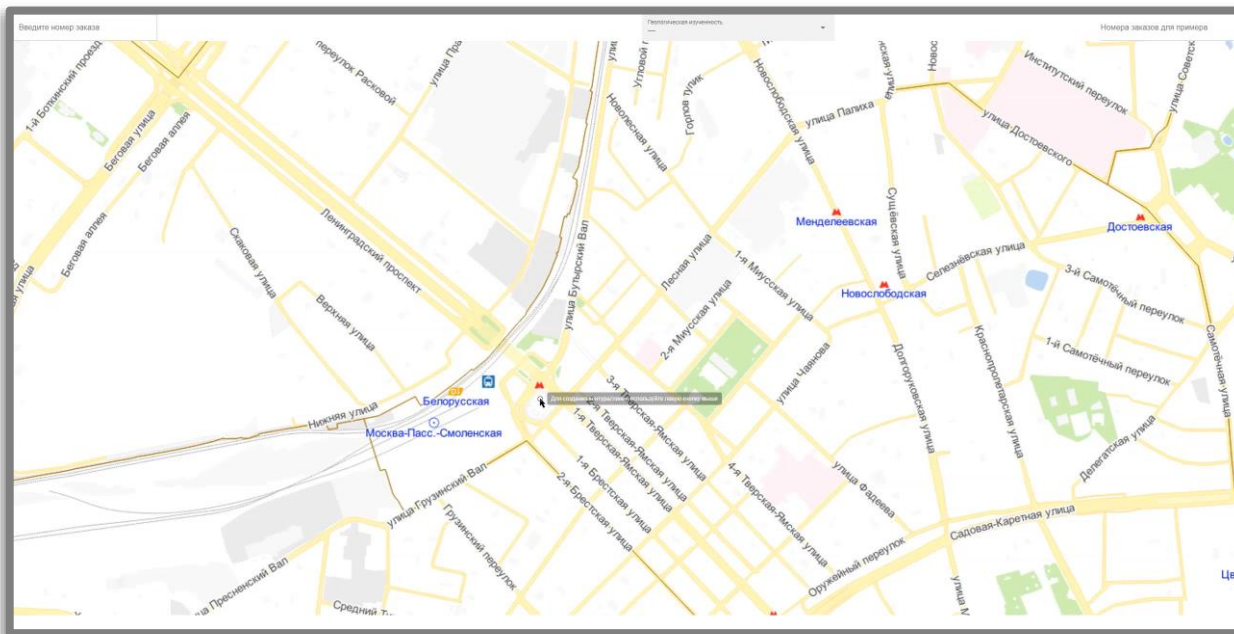
Условные обозначения



Первый системный опыт использования геологической модели

1 Автосправка

- ✓ Справка по геологическому строению
- ✓ Справка по гидрогеологическим условиям
- ✓ Справка подсчёта земляных работ



2 Методика оценки достоверности

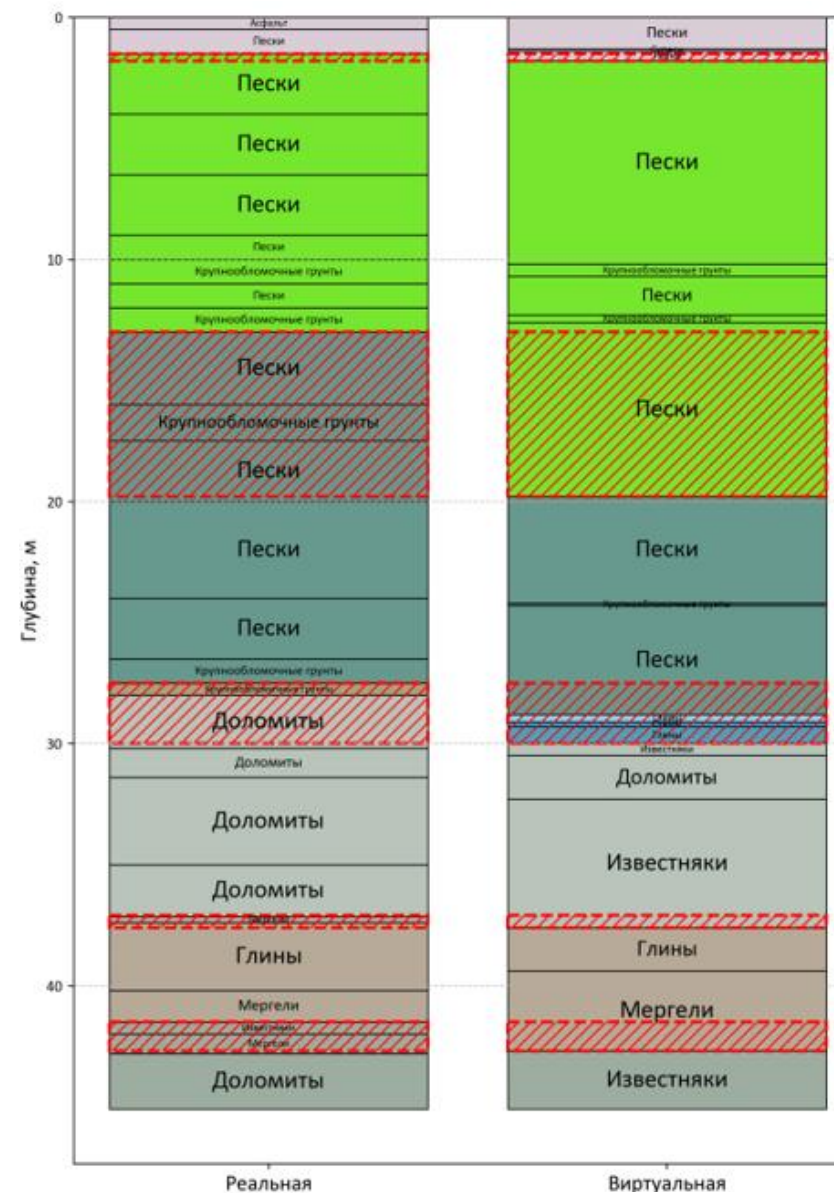
- **Определение степени соответствия** трехмерной геологической модели фактическим данным в контрольных точках.
- **Выявление расхождений** и причин их возникновения.
- **Районирование территории** по степени достоверности трехмерной геологической модели.
- **Разработка рекомендаций по коррективке** и улучшению алгоритмов построения трехмерной геологической модели г. Москвы.

Формирование доверительных зон

Оценка точности трёхмерной цифровой геологической основы

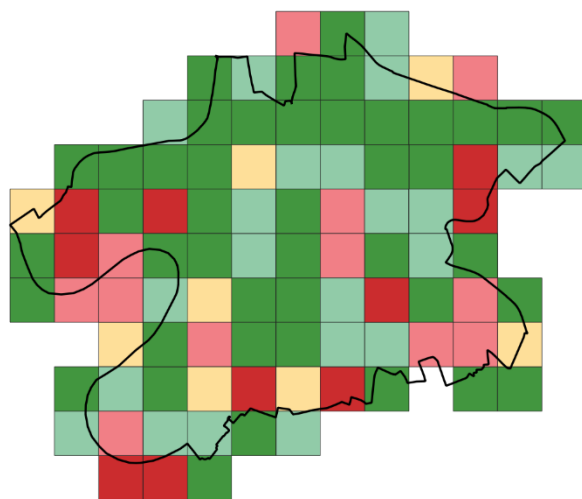
| Показатель | Оценка показателя |
|---|-------------------|
| Расхождение абсолютных отметок (оценка качества) | отличное |
| Общая оценка стратиграфии, % расхождения | 23.9 |
| Расхождение стратиграфии (оценка качества) | хорошее |
| Общая оценка литологии, % расхождения | 16.8 |
| Расхождение литологии (оценка качества) | отличное |
| Разница мощности насыпных грунтов | 0.3 |
| Мощность насыпных грунтов реальная | 1.5 |
| Мощность насыпных грунтов виртуальная | 1.8 |
| Разница мощности насыпных грунтов (оценка качества) | отличное |
| Разница мощности специфических грунтов | 0.0 |
| Разница мощности специфических грунтов (оценка качества) | отличное |
| Разница глубин появления уровня воды | 0.12 |
| Разница глубин установления уровня воды | 0.0 |
| Разница глубин появления уровня воды (оценка качества) | отличное |
| Разница глубин установления уровня воды (оценка качества) | отличное |
| Общий показатель качества, % | 82.9 |
| Категория сложности | Средняя |
| Количество скважин в БД в пределах 100м | 0 |
| Количество скважин в БД в пределах 500м | 14 |

Фрагмент из отчета об оценке качества

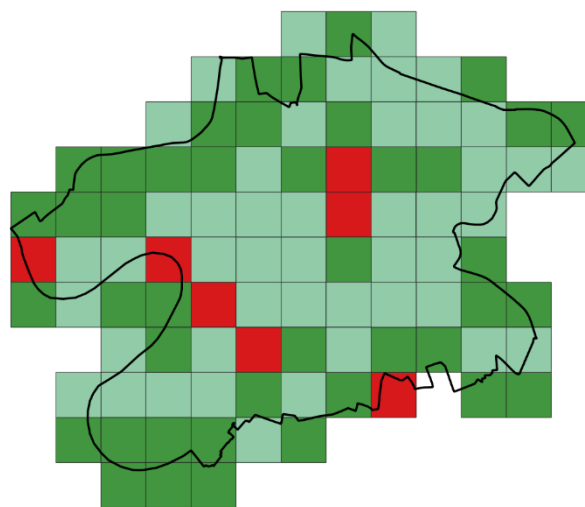


Формирование доверительных зон

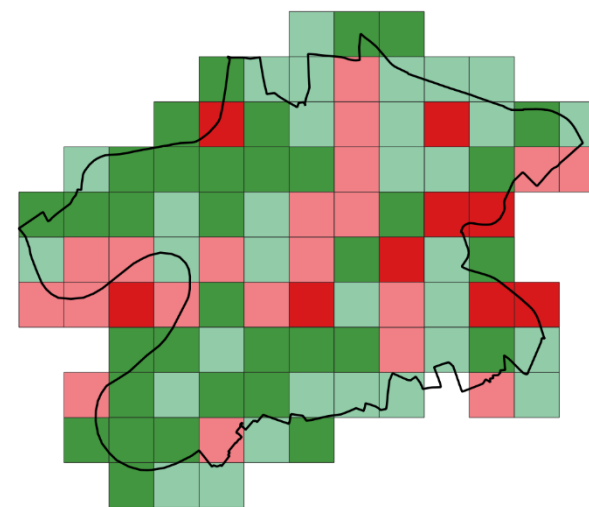
Прогноз уровней ПВ



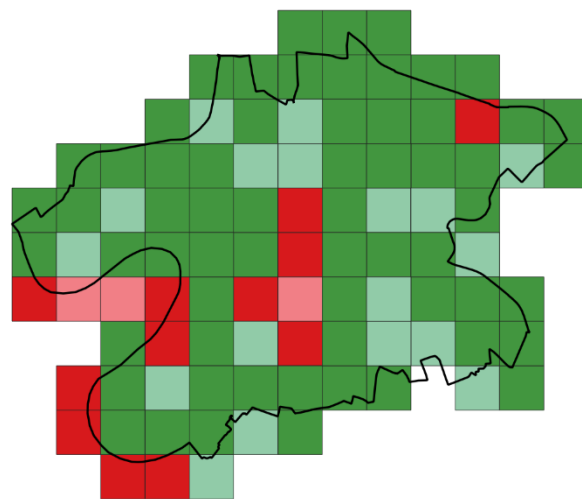
Прогноз литологии



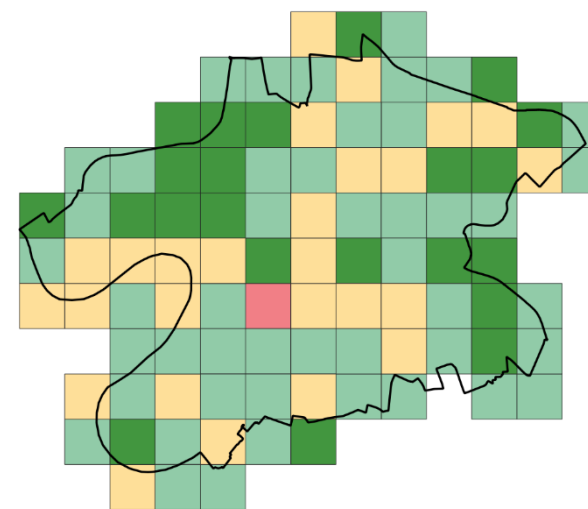
Прогноз мощности техногенных грунтов



Прогноз специфических грунтов



Интегральная оценка



Схемы имеют иллюстративный характер и не являются фактической оценкой качества модели г. Москвы

Так надо ли бурить????



Так надо ли бурить????



Источник фото – телеграм-канал
Geoinfo (публикация от 17.04.2025)

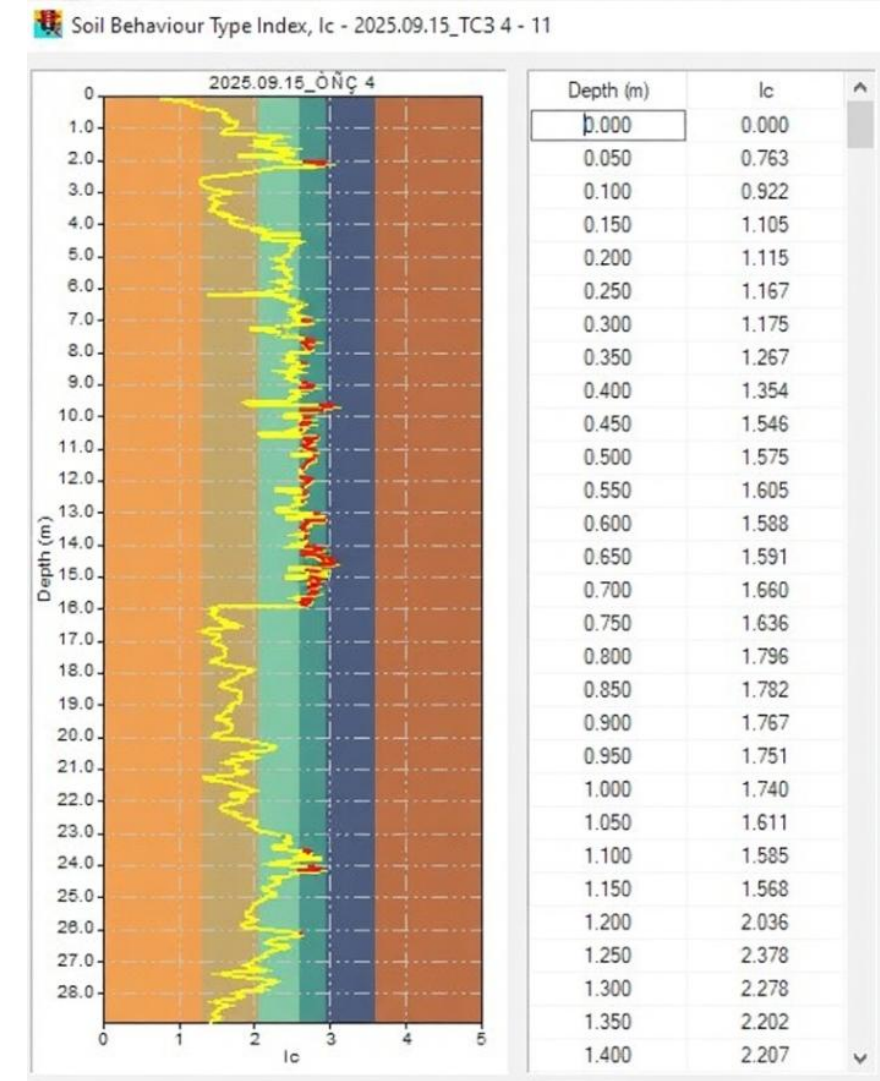
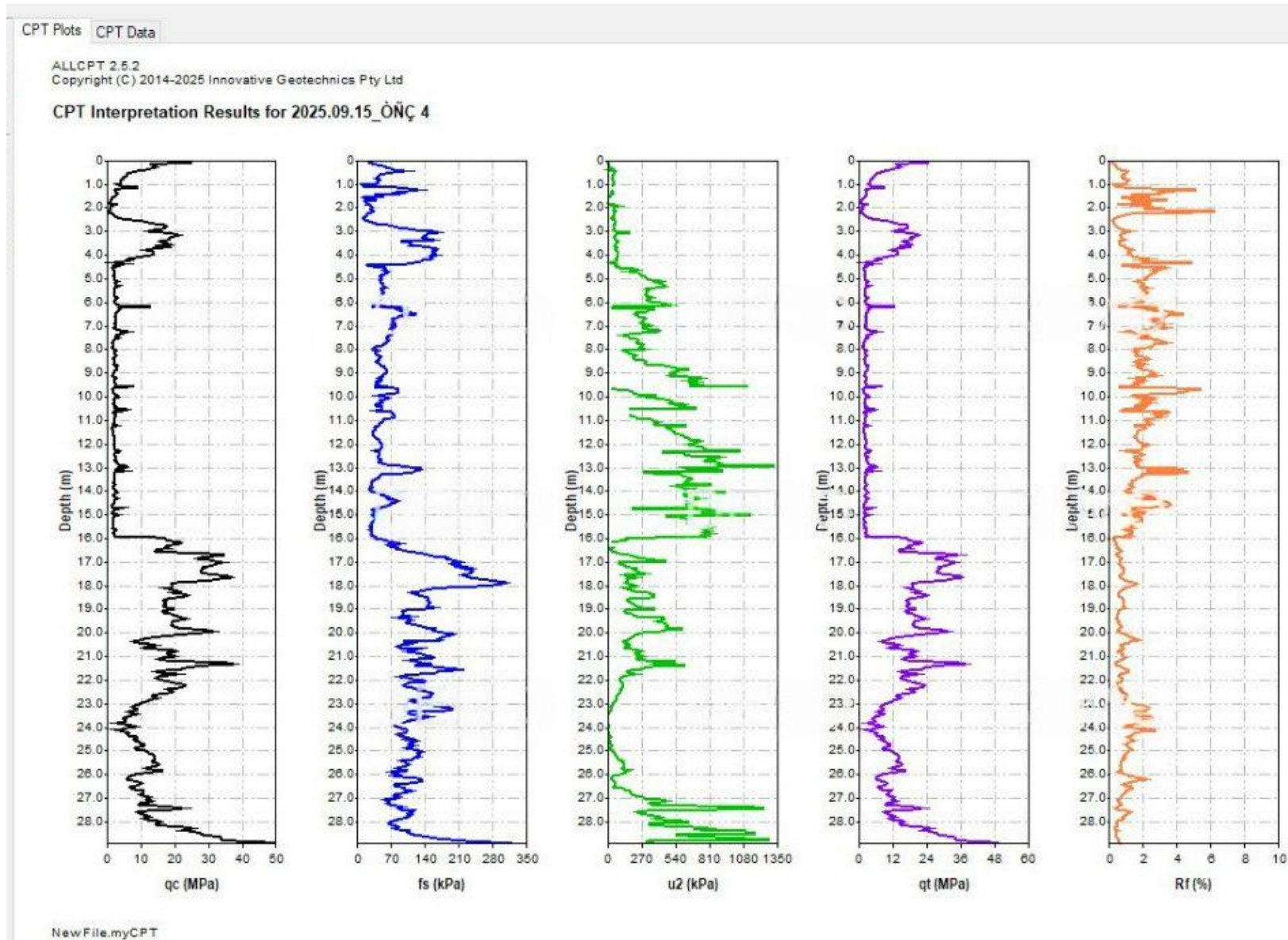


Фрагмент видео «ЛенТИСИЗ»

Да.
Но давайте делать это
осознанно:

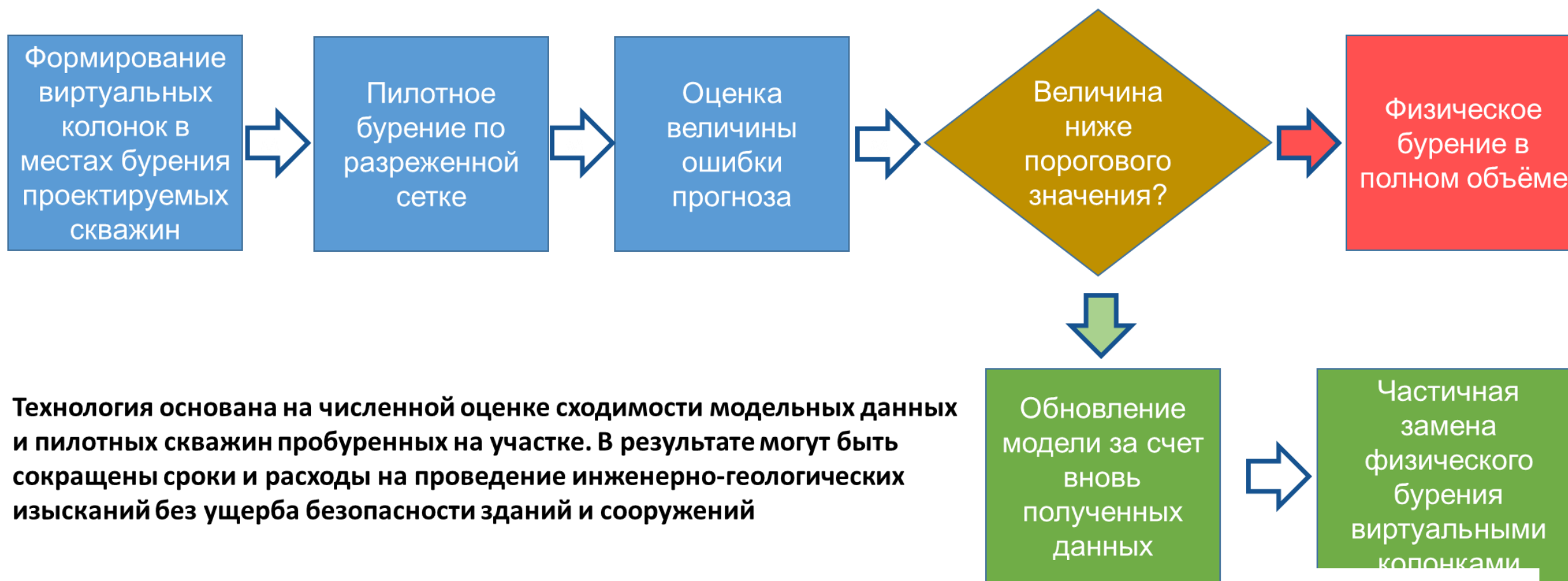
1. Действительно бурить
2. Бурить хорошо
3. Возможно, в некоторых случаях в меньших объемах
4. Использовать косвенные методы как дополнительные источники информации

Статическое зондирование как основа для виртуальной колонки



Оптимизация объемов инженерно-геологических изысканий на основе данных трёхмерной геологической модели

Технология совместного использования натуральных и модельных данных по результатам пилотного бурения



Технология основана на численной оценке сходимости модельных данных и пилотных скважин пробуренных на участке. В результате могут быть сокращены сроки и расходы на проведение инженерно-геологических изысканий без ущерба безопасности зданий и сооружений

Мероприятия, необходимые для промышленного внедрения технологии виртуальной колонки

Устранение противоречий действующих нормативных документов

Виртуальная скважина



Проектирование

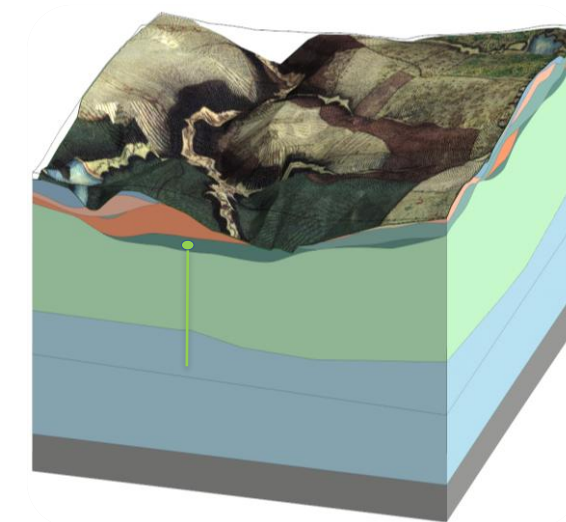
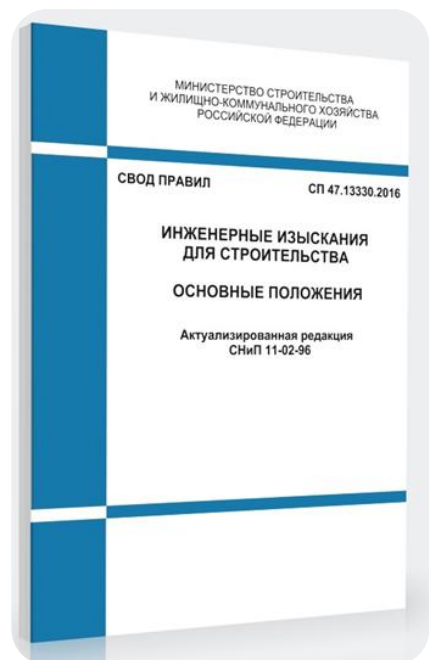


Экспертиза?

Установление определённости в вопросах ответственности

Формирование доверительного отношения к технологии

Сбор и анализ статистики на пилотных объектах
На подобию данных: in situ и in vitro



«Карандашное» бурение vs «виртуальное»

