

# Массив грунтов – «чёрный ящик» инженерной геологии

Е.А. Вознесенский (ИГЭ РАН)

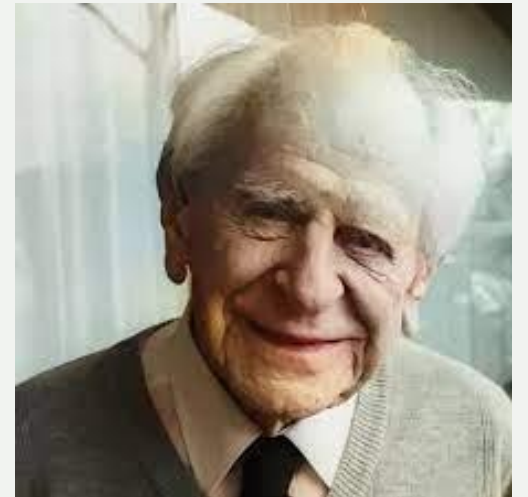


Казимир Малевич «Чёрный квадрат» (1915)  
*Государственная Третьяковская галерея*

«Чёрный ящик» – это модель системы, в которой внешнему наблюдателю доступны лишь входные и выходные величины, а структура и внутренние процессы неизвестны. Любой познаваемый объект всегда первоначально выступает как «чёрный ящик».

«Наука начинается с проблем и развивается от них к конкурирующим теориям, которые оцениваются критически»

*Карл Раймунд Поппер*



Научная проблема – это совокупность взаимосвязанных вопросов, на которые современная наука не может дать непротиворечивого ответа, и по мере решения которых возникает и какое-то время существует теория – до накопления некой «критической массы» противоречащих ей фактов.

Интуитивная логика естествоиспытателя говорит мне, что эти нерешенные вопросы всегда касаются природы вещей, т.е. связаны исключительно с ответом на вопрос «почему?»

Основная проблема инженерной геологии:

Природа и закономерности взаимодействия массивов грунтов с объектами инженерной деятельности человека

Природа деформируемости грунтов под нагрузкой

Природа прочности грунтов

Природа и механизмы смещений пород на склонах

Природа поведения массивов грунтов

Общество, среда обитания и управление ресурсами

+ Путь преодоления научной проблемы лежит через познание

+ Проблема → актуальные задачи (обоснование)



методология их решения



выбор, создание или совершенствование методик исследования



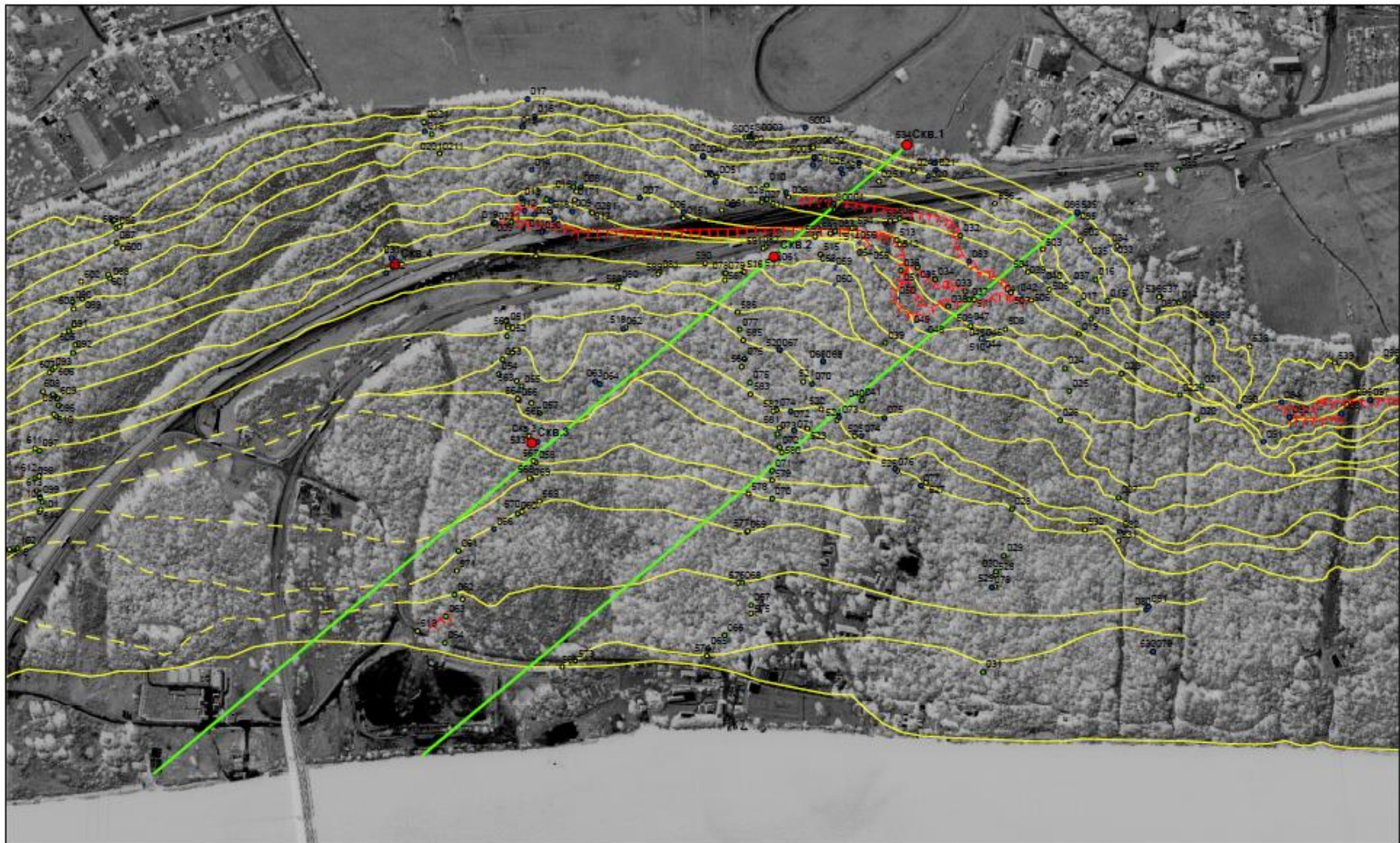
анализ и осмысление новых данных → теория



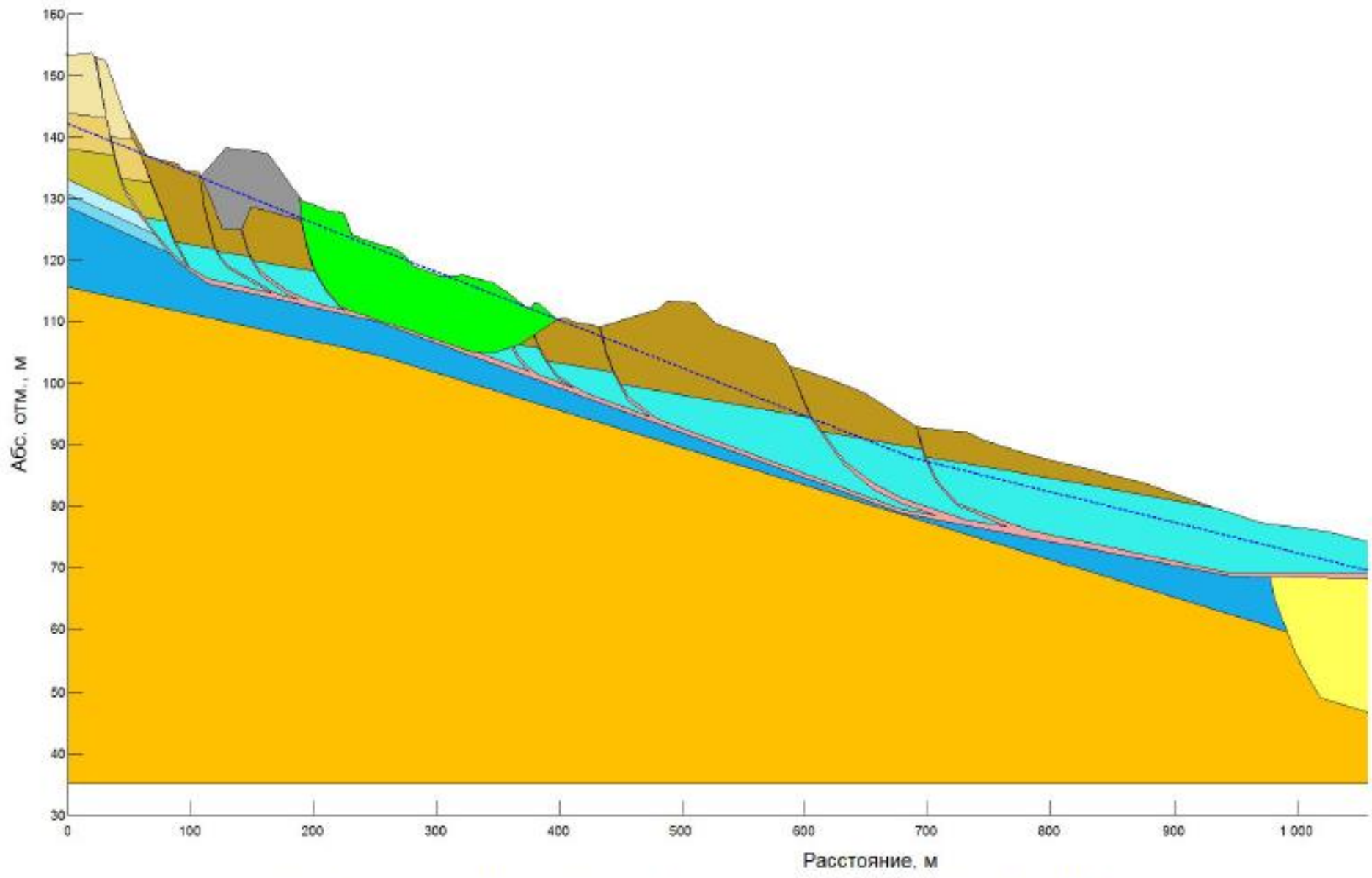
# Природа поведения массивов грунтов: основные слагаемые нашего незнания

# 1. Неопределенность границ массива грунтов

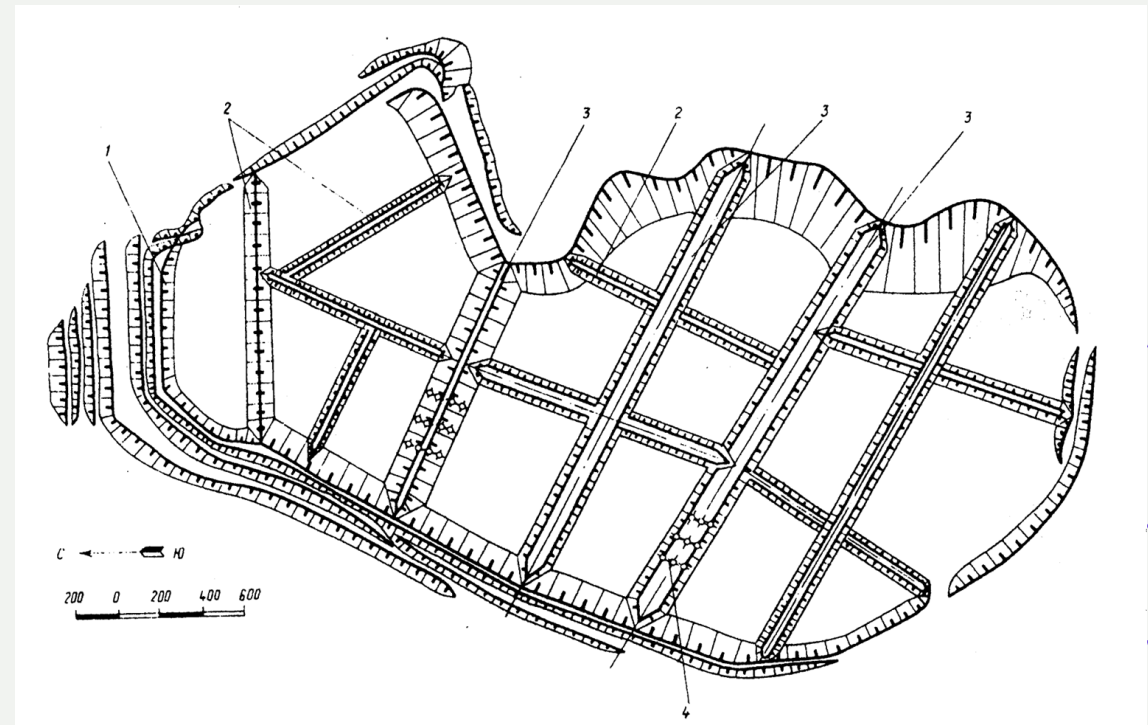
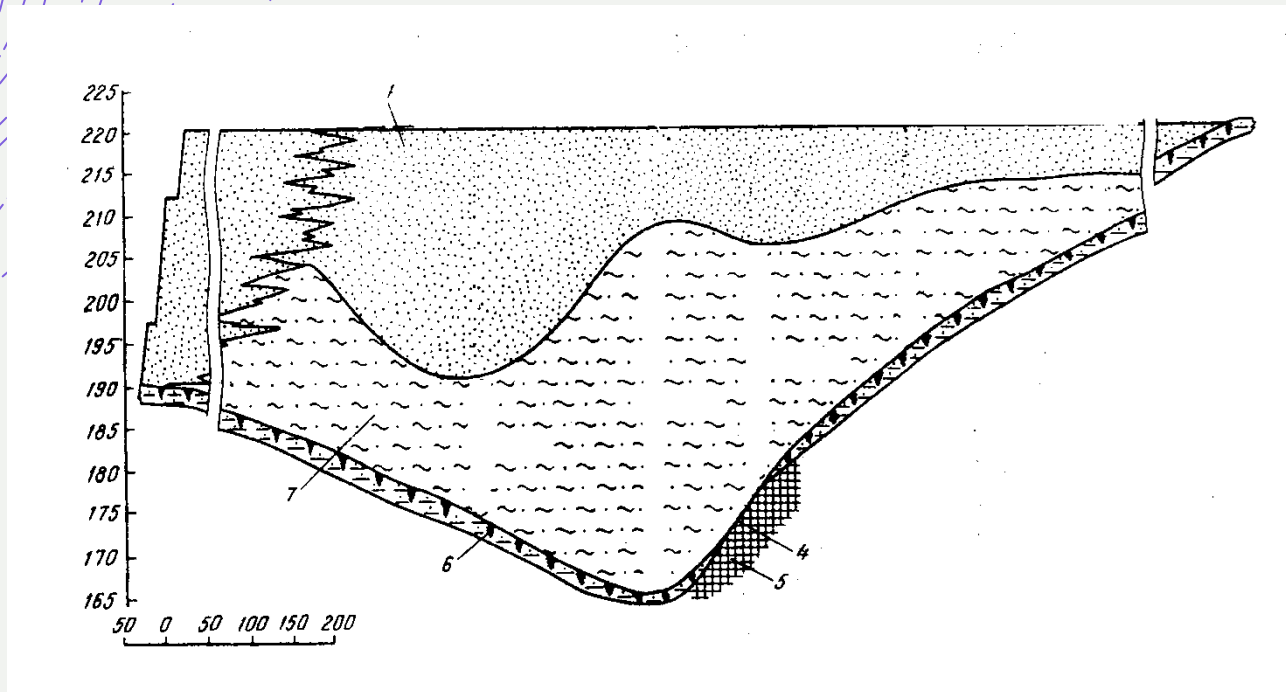
- + Массив горных пород – геологическое тело, образующее геологическую структуру или ее часть, сформировавшееся в определенной геолого-структурной и палеогеографической обстановке и характеризующееся присущими ему геологическими, гидрогеологическими и инженерно-геологическими особенностями
- + Массив грунтов (инженерно-геологический массив, грунтовая толща) – часть Земной коры, находящаяся в сфере воздействия инженерных сооружений и исследуемая с целью проектирования и последующей эксплуатации сооружения.
- + Сфера воздействия – объем горных пород, в пределах которого могут произойти изменения естественных условий в процессе строительства и эксплуатации сооружений





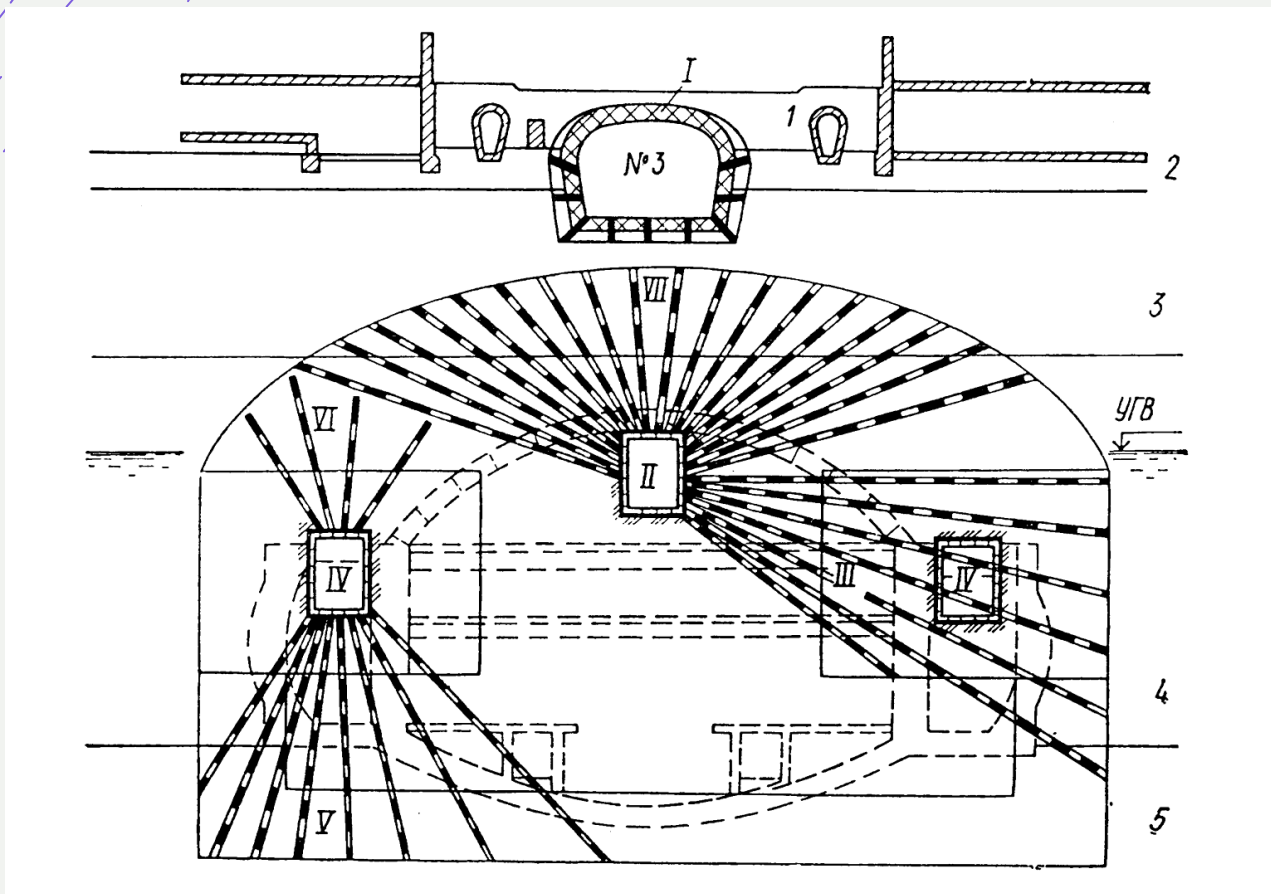


Под массивом техногенно созданных грунтов понимается непрерывный объем перемещенных горных пород, твердых промышленных или бытовых отходов, сформированный каким-либо одним способом и рассматриваемый в качестве основания, среды или материала для возведения инженерных сооружений.



Разрез массива грунтов гидроотвала (КМА): 1 – пески намывные с прослоями глинисто-меловых паст, 4- щебень, дресва, мел с глинистым заполнителем, 5 – мел трещиноватый, 6 – покровный суглинок, 7 – суглинисто-меловая паста с прослоями песков

Под **массивом техногенно преобразованных природных грунтов** понимается объем грунтов, в пределах которого в условиях их естественного залегания произошло целенаправленное или случайное (побочное) изменение их состава, состояния и свойств, **существенное** для инженерно-хозяйственной деятельности человека. Таким образом, **границей массива техногенно преобразованных природных грунтов** является воображаемая поверхность произвольной конфигурации, за пределами которой показатели состава, состояния и свойств находятся в пределах их вариации для неизменных грунтов.



Закрепление грунтов при  
строительстве станции  
метро «Обер» в Париже

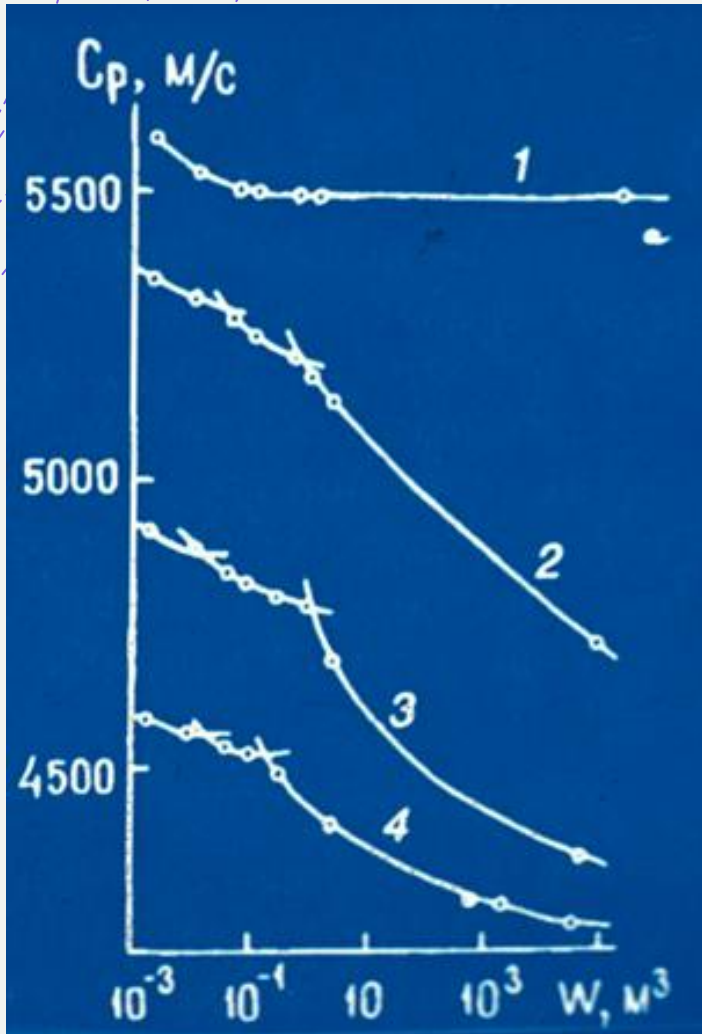
## 2. Невозможность прямого наблюдения за процессами, происходящими в массивах грунтов

- О процессах в массиве мы судим по их проявлениям на его поверхностях – глубина поверхности смещения, общая закарстованность, суффозионный вынос, др.
- Процесс реконструируется (по сути – моделируется) либо по данным в отдельных точках (например, скважинах), либо по площадным изменениям на поверхности (ДЗЗ), либо по изменениям параметров полей Земли (косвенные геофизические методы).
- Мониторинг процессов – это также наблюдения за проявлениями на поверхности или в отдельных точках.

### 3. Неопределенность соотношения состояния образца грунта и того же грунта в массиве

- Нарушение природного сложения грунта, потери влаги, дополнительные повреждения при транспортировке
- Для некоторых грунтов – невозможность отбора ненарушенного образца
- Нетипичность образца для слоя или толщи в целом
- Непредставительность пробы, например, из-за размера включений
- Нарушение напряженного состояния
- Нарушение температурного режима

## 4. Масштабный эффект



Основная причина – соотношение размера исследуемого объема грунта с размером включений, трещин или иных неоднородностей, присутствующих в массиве.

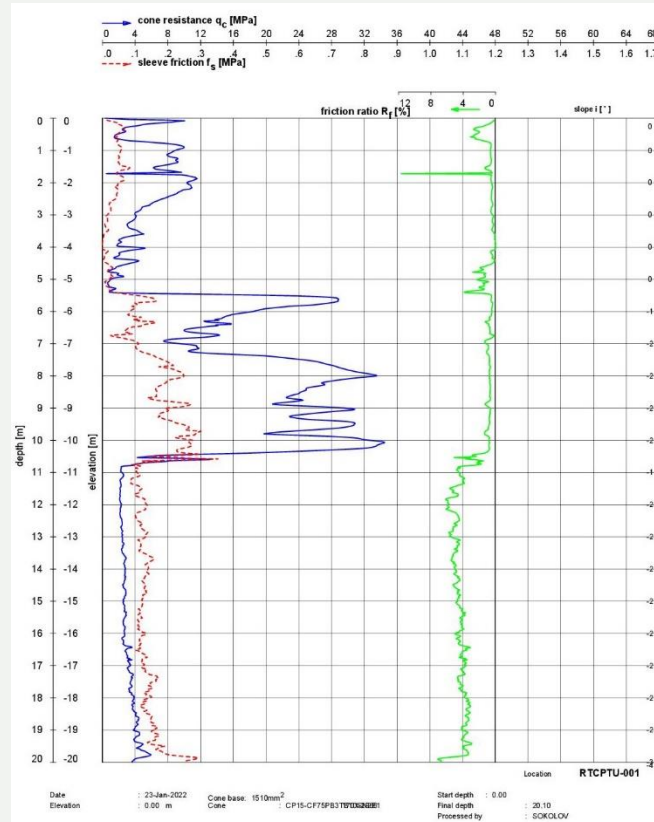
Масштабные кривые скорости продольных волн в базальтах (по Г.А. Голодковской, Л.В. Шаумян):

- 1 – с первичной трещиноватостью
- 2 – со слабой тектонической трещиноватостью
- 3 – с повышенной тектонической трещиноватостью
- 4 – с сильной тектонической трещиноватостью

# 5. Неоднородность свойств массива грунтов

**Неоднородность** грунтов проявляется в значимых различиях показателей их состава и свойств между двумя точками, а пространственная неоднородность рассматриваемых признаков определяет их **изменчивость**, характерную для всех грунтов.

Неоднородность состава и свойств грунтов в пределах произвольного их массива обусловлена вариациями таких характеристик как структура, текстура, влажность, физико-механические и иные свойства грунтов.

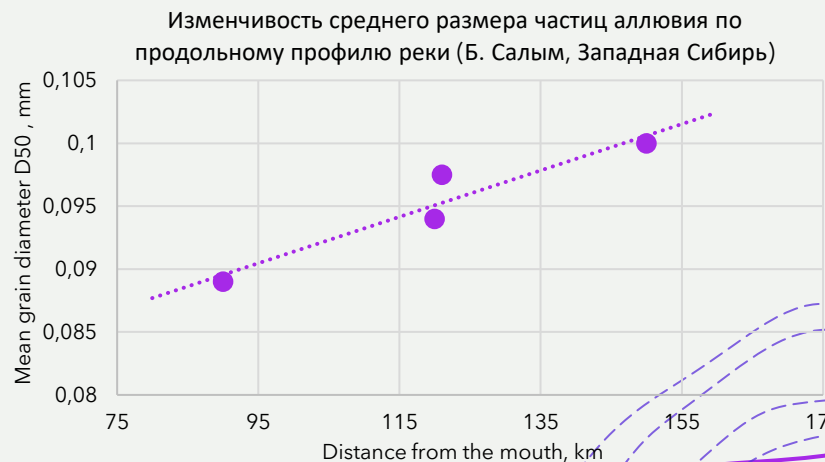
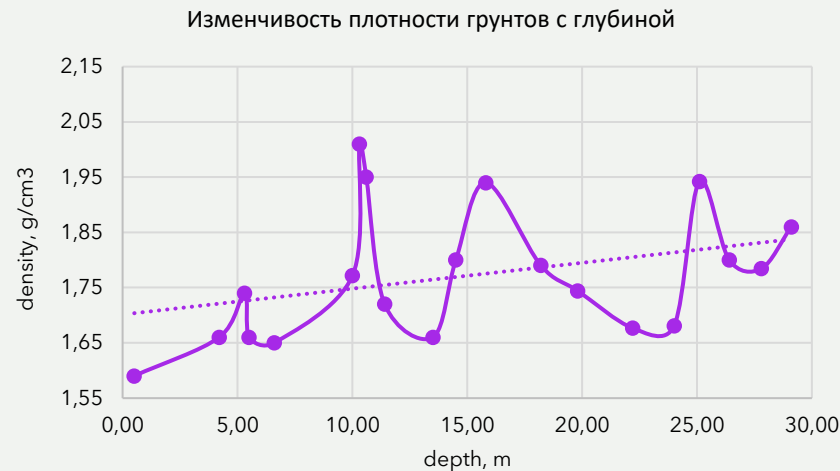
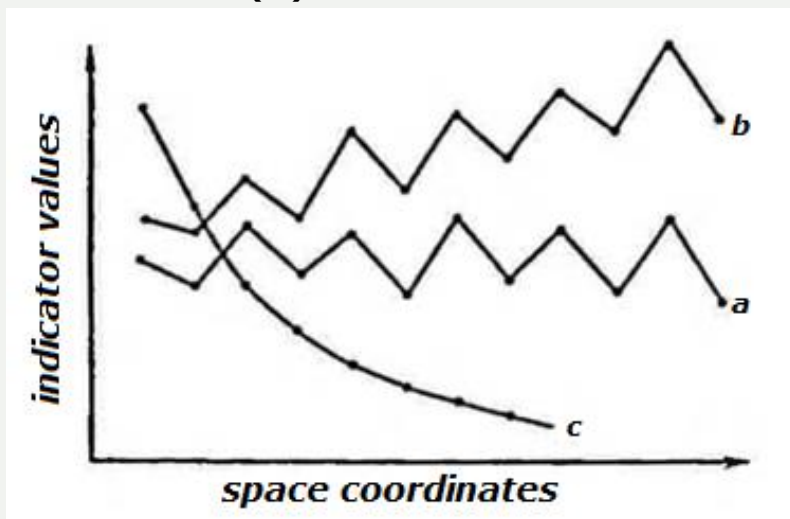


Project: Zvenigorod Biostation of MSU  
 Drilling method: Rotary core drilling, diam. 89 mm  
 Elevation: 170.00 m  
 Depth: 20.00 m  
 Date of works: 18.01.2022 y.

Geological Index	Elevation	Depth	Thickness of layer	Soil description	Level of water (m) appeared steady
t0V	164.50	5.50	5.50	Man-made soil - medium sand, brown, heterogeneous with interlayers of brown fine sand of 2-5 cm in thickness with igneous and sedimentary rock gravel inclusions up to 10 - 15%, dense, low water saturation degree, interbedding of reddish-brown very stiff sandy silt at the top of the layer (0.3-0.4 m).	
a02 llmnv	159.55	10.45	4.95	Fine sand brown, heterogeneous, with interlayers of brown silty fine sand and medium sand with thickness of 2-5 cm, with inclusions of gravel and cobbles, dense, medium water saturation degree.	
l30x	150.00	20.00	9.55	Clay, very stiff, black, laminated, micaceous, with rare inclusions of wood fibers, gravel, cobbles of sedimentary rocks up to 5-7% and rare interlayers of silty sand, gray, water saturated, 1-2 cm in thickness, inclusions of shell fragments (belemnites and ammonites)	

Date: 23-Jan-2022  
 Elevation: 0.00 m  
 Core base: 1510mm<sup>2</sup>  
 Core: CP15-CF75P837E1022000  
 Start depth: 0.00  
 Final depth: 20.10  
 Processed by: SOKOLOV  
 Location: RTCPTU-001

Пространственная неоднородность грунтов в массиве называется изменчивостью. В зависимости от характера ее проявления обычно выделяется три типа изменчивости (Коломенский, 1968) : скачкообразная незакономерная (а), скачкообразная закономерная (b) и функциональная (с).





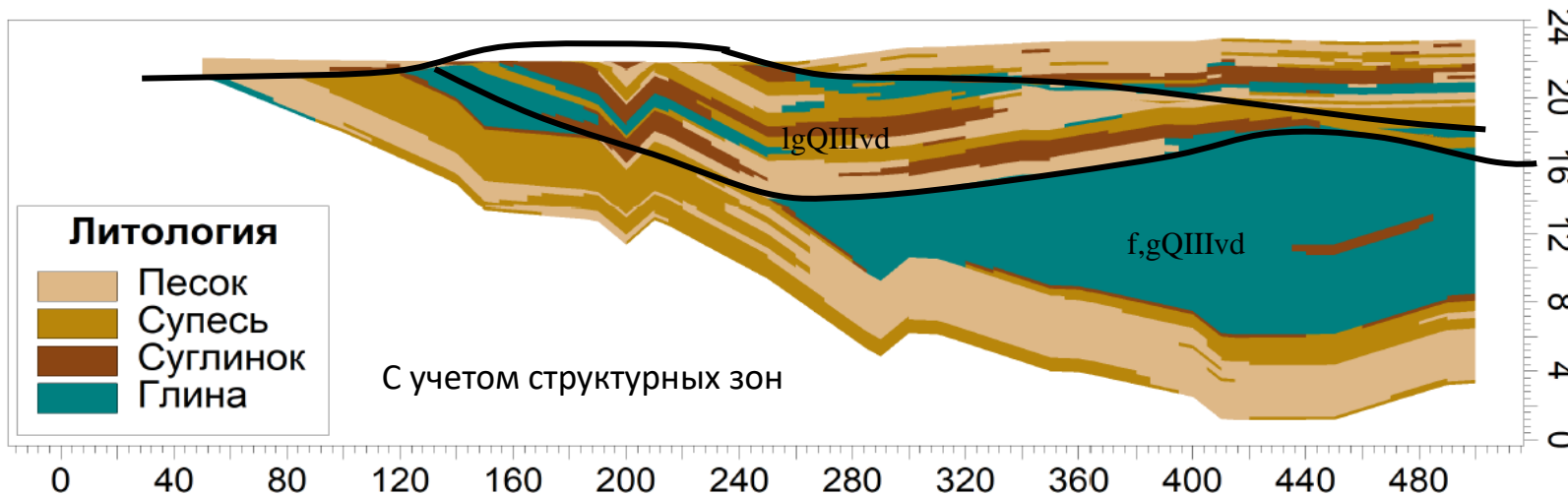
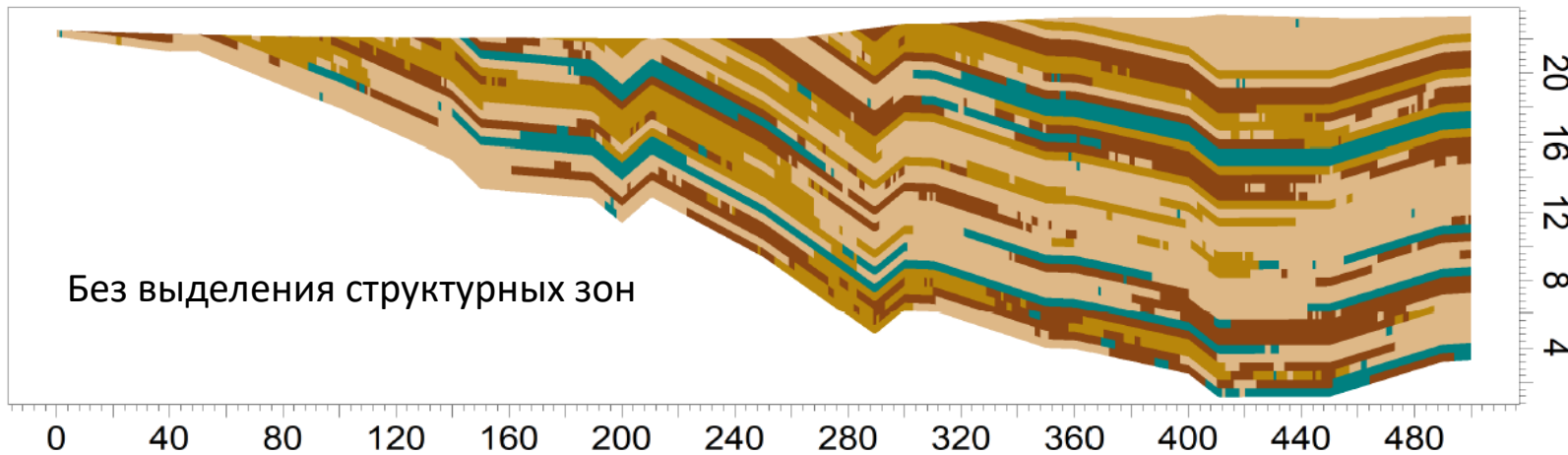
## Общая методология оценки пространственной неоднородности грунтов

**Задача 1.** Оценка изменчивости грунтов путем построения полей каждого исследуемого геологического параметра. Это информационное поле затем может анализироваться в 2D или 3D представлении для каждого показателя состава и свойств грунтов, используемого при проектировании.

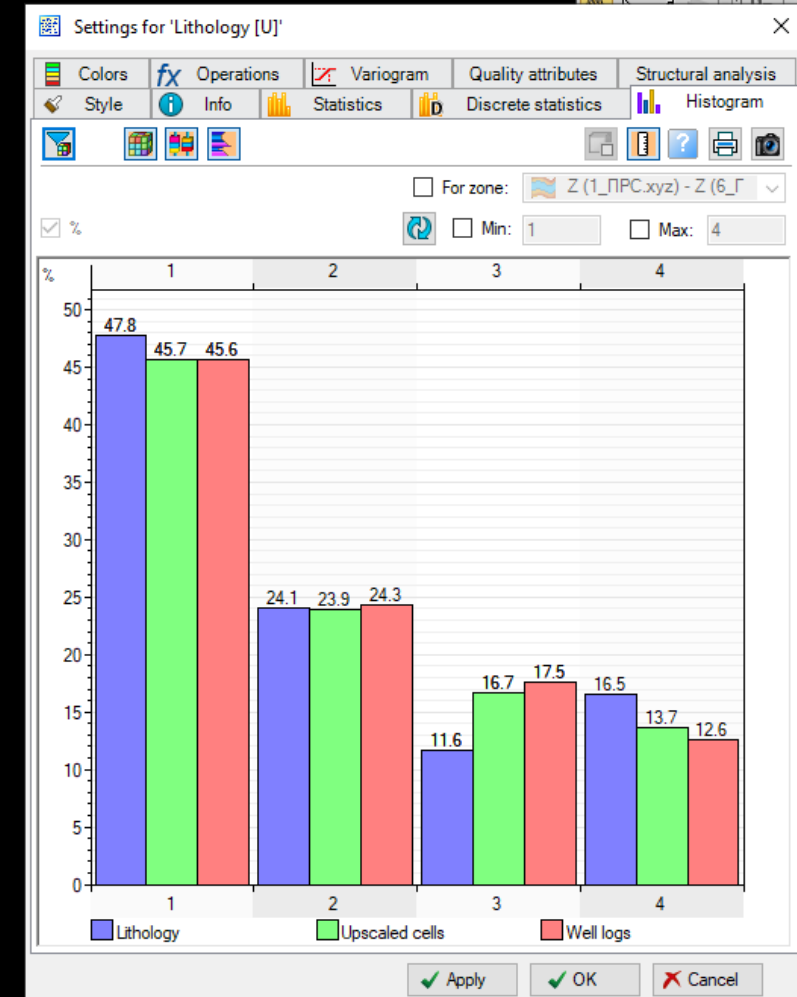
**Задача 2.** Включение этих полей параметров в геологическую модель рассматриваемого массива с использованием специализированного программного обеспечения позволит получить новый тип инженерно-геологической модели, в явном виде отражающей грунтовые условия включая их непрерывную неоднородность, вместо комбинации «кирпичиков» – ИГЭ, которые полагаются однородными, но не являются таковыми.

**Задача 3.** Сопряжение такой инженерно-геологической модели с моделью (механической, термической, гидравлической, др.) сооружения или его фундамента будет означать возникновение и нового типа уже по существу геотехнической модели массива в основании сооружения – с непрерывным описанием вариаций ключевых параметров вместо конечных или граничных элементов с прерывистым изменением соответствующих показателей на их границах.

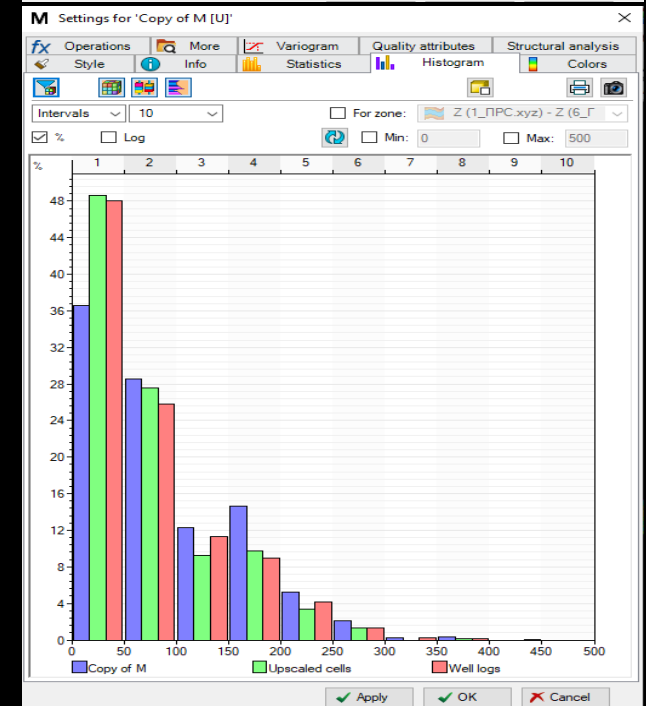
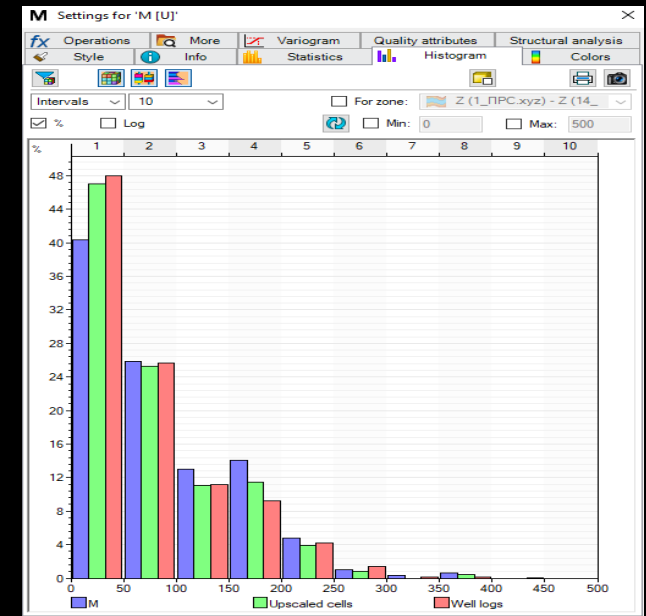
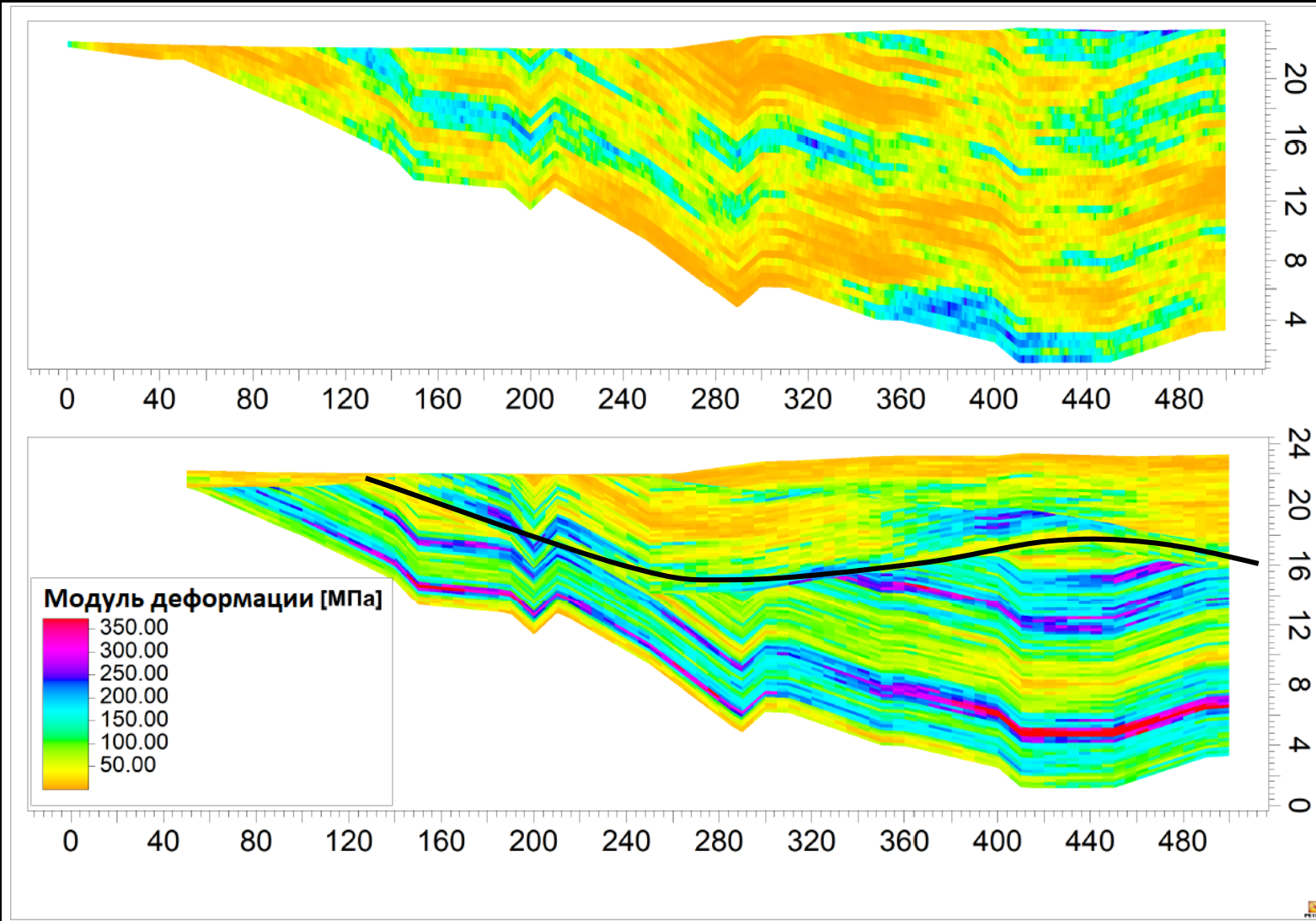
## Пространственное распределение фаций



## Гистограмма распределения данных



Поле распределения модуля деформации грунтов в разрезе



# Природа поведения массивов грунтов: основные слагаемые нашего незнания

1. Неопределенность границ массива грунтов
2. Невозможность прямого наблюдения за процессами, происходящими в массивах грунтов
3. Неопределенность соотношения состояния образца грунта и того же грунта в массиве
4. Масштабный эффект
5. Неоднородность свойств массива грунтов