

## Проблематика

Гидрогеология изучает распределение и движение грунтовых вод в почве и осадочных горных породах. Грунтовые воды важны для общества, окружающей среды и экономики, при этом запасы постепенно истощаются за счет постоянного прироста населения и промышленной экспансии. Поэтому гидрогеология играет важную роль в разработке многосторонней стратегии управления грунтовыми водами с целью удовлетворения растущего потребления ресурса.

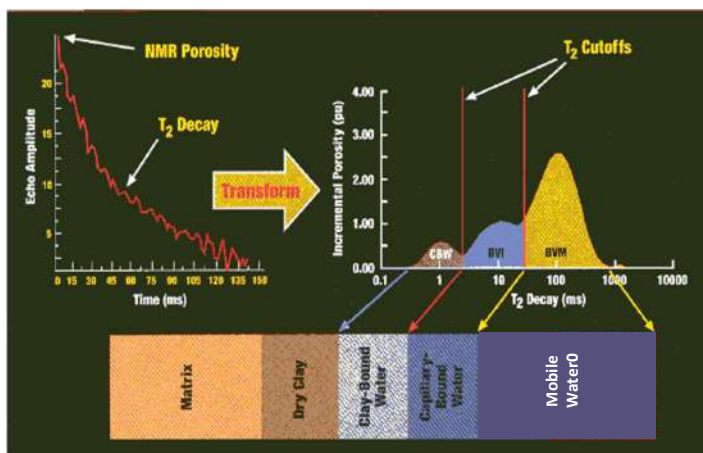
При оценке распределения воды по водоносному горизонту гидрогеолог должен определить вертикальную и латеральную вариативность в пористости по всей площади залегания породы и фракцию, занимаемую свободным (текучим) и связанным (неподвижным) раствором. Для составления карты движения подземных вод гидрогеолог должен оценить потенциал потока, который зависит от гидравлической проводимости, удельного дебита и удельного водоудержания.

## Существующие методы

Пористость, удельный дебит, удельное водоудержание и проницаемость можно непосредственно измерить ex-situ на примере чистого высушенного керна. Однако на точность таких измерений повлияет качество пробы, на которое, в свою очередь, повлияет практика отбора проб, степень проникновения фильтрата, повреждения на пробах при их извлечении, некачественная сохранность пробы, образование налета. На точность также влияют методы испытаний и процедур, характеристики задействованного оборудования.

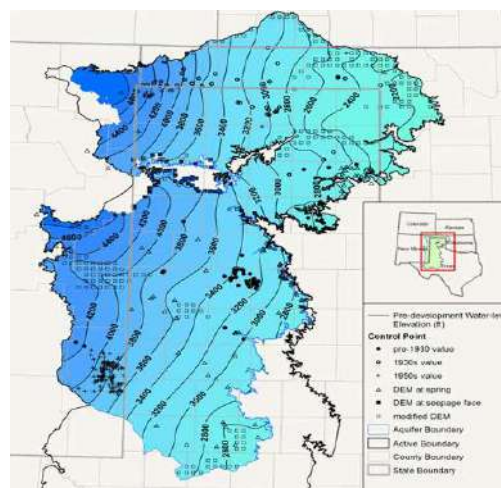
Пористость и проницаемость также можно определить в полевых условиях. Однако, как правило, значения пористости, взятые из плотностного гамма-гамма каротажа, могут быть ошибочны без точной информации о плотности материнской породы. Также невозможно измерить проницаемость напрямую, вместо этого используют сложные многокомпонентные показатели, зависящие от литологического состава, что приравнивает проницаемость к другим измеряемым геофизическим параметрам. Такие показатели выверяются с учетом показателей проницаемости на основе проб в пробах, извлеченных с разных глубин, что, как упоминалось ранее, может дать серьезные погрешности. Проницаемость породы возможно определить в полях по мониторингу и анализу изменения давления при помощи гидравлических испытаний посадки пакера. Однако, чтобы получить один показатель, такие испытания могут занимать часы, и даже дни.

## Новый метод в полевых условиях



Пористость, удельный дебит и удельное водоудержание можно непосредственно измерить на месте при помощи технологии ядерно-магнитного резонанса (ЯМР).

Эта технология специально разработана для определения заполненных жидкостью пор, что позволяет избежать поправки на содержание материнской породы и не требует специальной калибровки под литологию пласта. Такая современная технология отличается от замеров, зависящих от литологии пласта при использовании традиционных инструментов каротажа. ЯМР также позволяет получить показатели по проницаемости водоносного горизонта.



### Особенности и преимущества

Десятилетиями ЯМР применялся в отношении сбора данных по нефтяным и газовым скважинам, однако этот метод не был задействован в работе с грунтовыми водами из-за габаритов необходимых инструментов и высокой себестоимости метода. Компания NMRSA разрешила эту проблему за счет разработки современного компактного устройства каротажа на основе магнитного резонанса (МР).

- Современные технологии обработки последовательности импульсов ЯМР и сигналов позволяют определить пористость водоносного горизонта и содержание воды с высокой степенью точности и достоверности.
- Для оценки магнитной проницаемости используется соответствующая теоретическая модель.
- Подробные данные по геофизическим параметрам генерируются в реальном времени за счет передачи оригинальных характеристик и мощного ПО.
- Устройство каротажа на основе МР компактно, однако имеет внушительные характеристики сигнал/шум (SNR), что дает глубину анализа.
- Характеристики SNR, быстрое получение и обработка данных задают вариативность в геофизических параметрах, при этом карта водоносного горизонта строится на основе каротажных данных, полученных со скоростью 1 м/мин. (~200фут/ч).
- Устройство каротажа на основе МР можно использовать в необсаженной скважине, в скважине с обсадными трубами из стекловолокна или ПВХ.

### Точность и качество данных

Поиск и исследование новых водоносных горизонтов, как правило, предполагает бурение скважин небольшого диаметра. Такой подход вызвал необходимость разработки устройства каротажа на основе МР, который бы соответствовал размеру ствола скважины. Устройство стало компактным, при этом возникла потребность в современных технологиях измерения на основе возбуждения и релаксации ЯМР-сигнала.

Инновационные практические исследования, новая конструкция и нестандартный подход помогли найти решение. В результате таких фундаментальных достижений технология МР позволяет получить высококачественные данные с хорошим разрешением по многим геофизическим параметрам по характеристикам пор с всесторонним анализом гидрогеологии водоносного горизонта.

Более того, благодаря простоте использования и минимальным требованиям к оборудованию и компетенциям персонала каротаж на основе МР также дает самое лучшее качество, что проиллюстрировано в сравнительной таблице ниже.

	Каротаж на основе BMR	Стандартный каротаж	Пакер для испытания пород на проницаемость	Извлечение керна и анализ
Полевые замеры	✓	✓	✓	✗
Точность замеров	✓✓✓✓	✓	✓✓✓	✓✓✓
Общая пористость	✓	✓	✗	✓
Пористость, свободная вода	✓	✗	✗	✓
Пористость, глинисто-связанная вода	✓	✗	✗	✗
Пористость, капиллярно-связанная вода	✓	✗	✗	✓
Проницаемость	✓	✓	✓	✓
Данные в реальном времени	✓	✓	✗	✗
Непрерывный профиль по глубине	✓	✓	✗	✗
Операции без буровой установки	✓	✓	✗	✗
Операции без крана	✓	✓	✗	✓
Скорость испытаний <sup>1</sup>	✓✓✓✓	✓✓✓✓	✓✓	✓
Эффективность испытаний <sup>1</sup>	✓✓✓✓	✓✓✓✓	✓✓	✓
Себестоимость испытаний <sup>2</sup>	\$	\$\$	\$\$\$\$	\$\$\$
Рейтинг рентабельности	1	2	4	3

#### ПРИМЕЧАНИЯ

- ✓ = самый худший, ✓✓✓✓ = самый лучший
- \$ = мин.затрат, \$\$\$\$ = макс.затрат