



Проект реалізується
Донецьким національним
університетом
(м. Донецьк, Україна)



Проект виконується Науково-
навчальним центром ДонНУ
„Конвергенція нано-, біо- та інфо-
технологій для збалансованого
регіонального розвитку”

**Тематична програма Європейського Союзу для довкілля і сталого
управління природними ресурсами, зокрема енергією
Проект „Низько-вуглецеві можливості для індустріальних регіонів України”**

**Шеставін М.С., к.т.н., координатор проекту
Донецький національний університет**

**Презентація українського перекладу брошури CO₂GeoNet
«Що насправді означає геологічне зберігання CO₂?»**



Проект фінансується
Європейським Союзом

Круглий стол «Проект регіональної
дорожньої карти впровадження технологій
уловлювання и хранения диоксида
углерода на востоке Украины»
23.10.2012 – Донецк



Что в самом деле означает геологическое хранение CO₂?

Что в самом деле означает геологическое хранение CO₂?

Ответственное использование ископаемого топлива

Устранение основного источника парниковых газов

Возвращение углерода назад в землю

Резерв времени, необходимый, чтобы разработать благоприятные для климата источники энергии



CO₂GeoNet Европейская Сеть Экспертов

- Ответственное использование ископаемого топлива
- Устранение основного источника парниковых газов
- Возвращение углерода назад в землю
- Резерв времени, необходимого, чтобы разработать благоприятные для климата источники энергии



Проект финансируется Европейским Союзом

23.10.2012 – Донецк

Проект реализуется Донецким национальным университетом





Изменение климата и необходимость в геологическом хранении CO₂

Человечество выпускает в атмосферу слишком много CO₂

Нетто-оборот CO₂ между почвой и атмосферой в 1997 г. (в миллиардах тонн углерода в год).

(4 200) запас углерода

- Оборот техногенного происхождения
- Оборот природного происхождения



Во всем мире связанные с человеческой деятельностью выбросы CO₂ составляют 30 миллиардов тонн (Гт) в год, что соответствует 8,1 Гт углерода: 6,5 Гт от сжигания ископаемого топлива и 1,6 Гт от вырубки лесов и сельскохозяйственной деятельности

© BRGM im@gé



Проект финансируется Европейским Союзом

23.10.2012 – Донецк

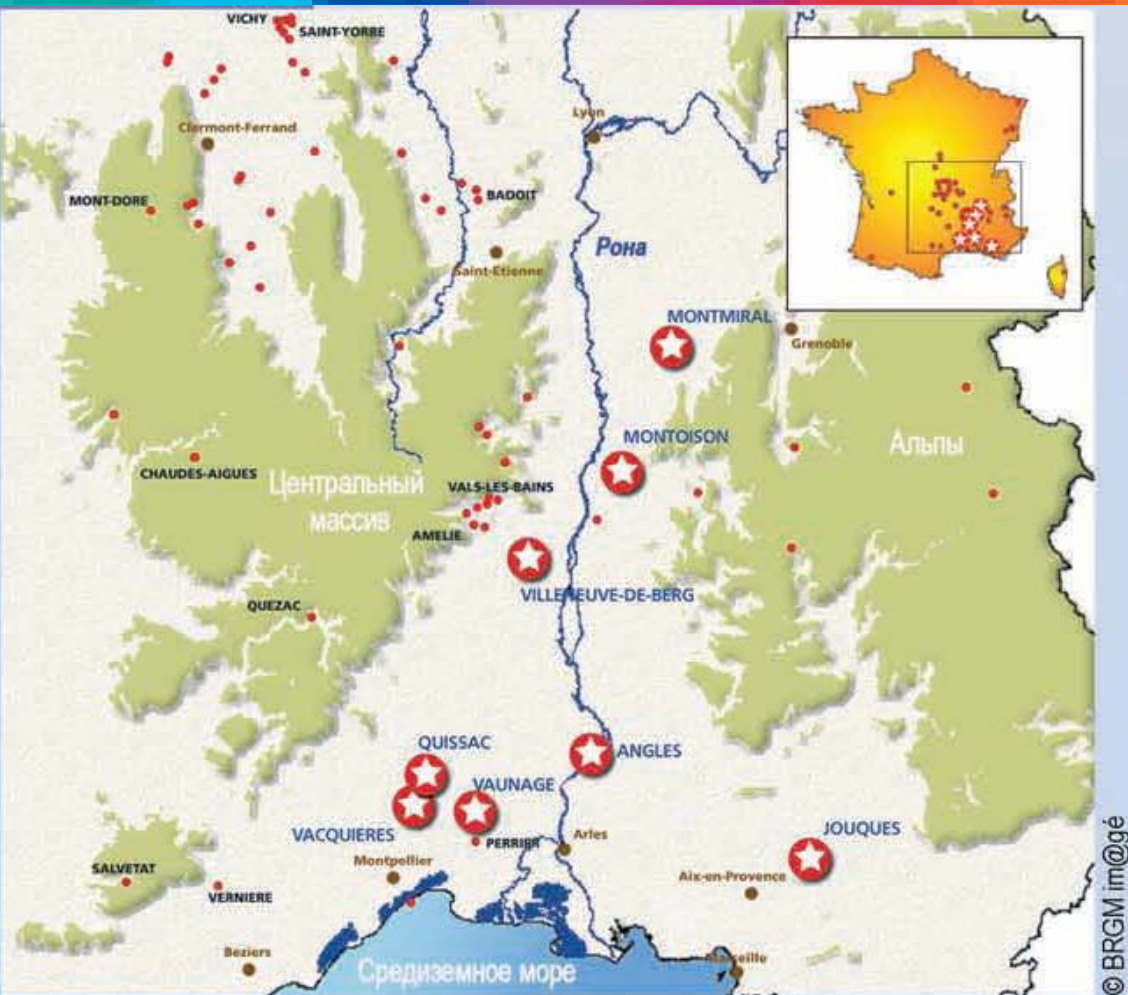
Проект реализуется Донецким национальным университетом







Изменение климата и необходимость в геологическом хранении CO₂

Возвращение углерода назад в землю



-  **Природные поля CO₂**
-  **Используемые воды с природным углекислым газом (питьевая вода, спа)**

Французские углекислогазовые провинции



Проект финансируется Европейским Союзом

23.10.2012 – Донецк

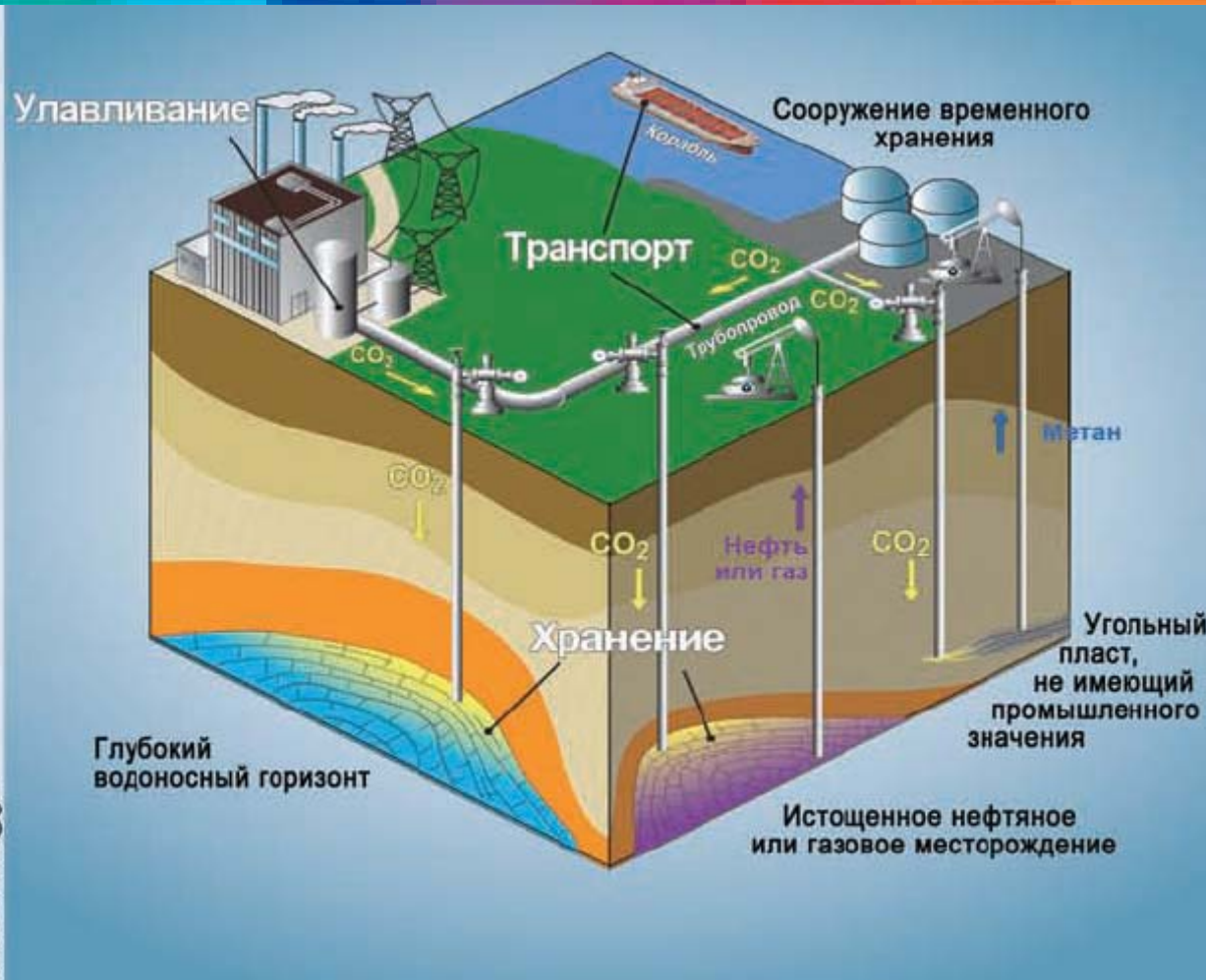
Проект реализуется Донецким национальным университетом





Изменение климата и необходимость в геологическом хранении CO₂

Улавливание и хранение CO₂: многообещающие пути смягчения последствий



На электростанциях CO₂ улавливается путем отделения его от других газов.

После чего он сжимается и транспортируется по трубопроводу или на кораблях до участка геологического хранения: в глубоких соляных водоносных горизонтах, истощенных нефтяных и газовых месторождениях, не имеющих промышленного значения угольных пластах



Проект финансируется
Европейским Союзом

23.10.2012 – Донецк

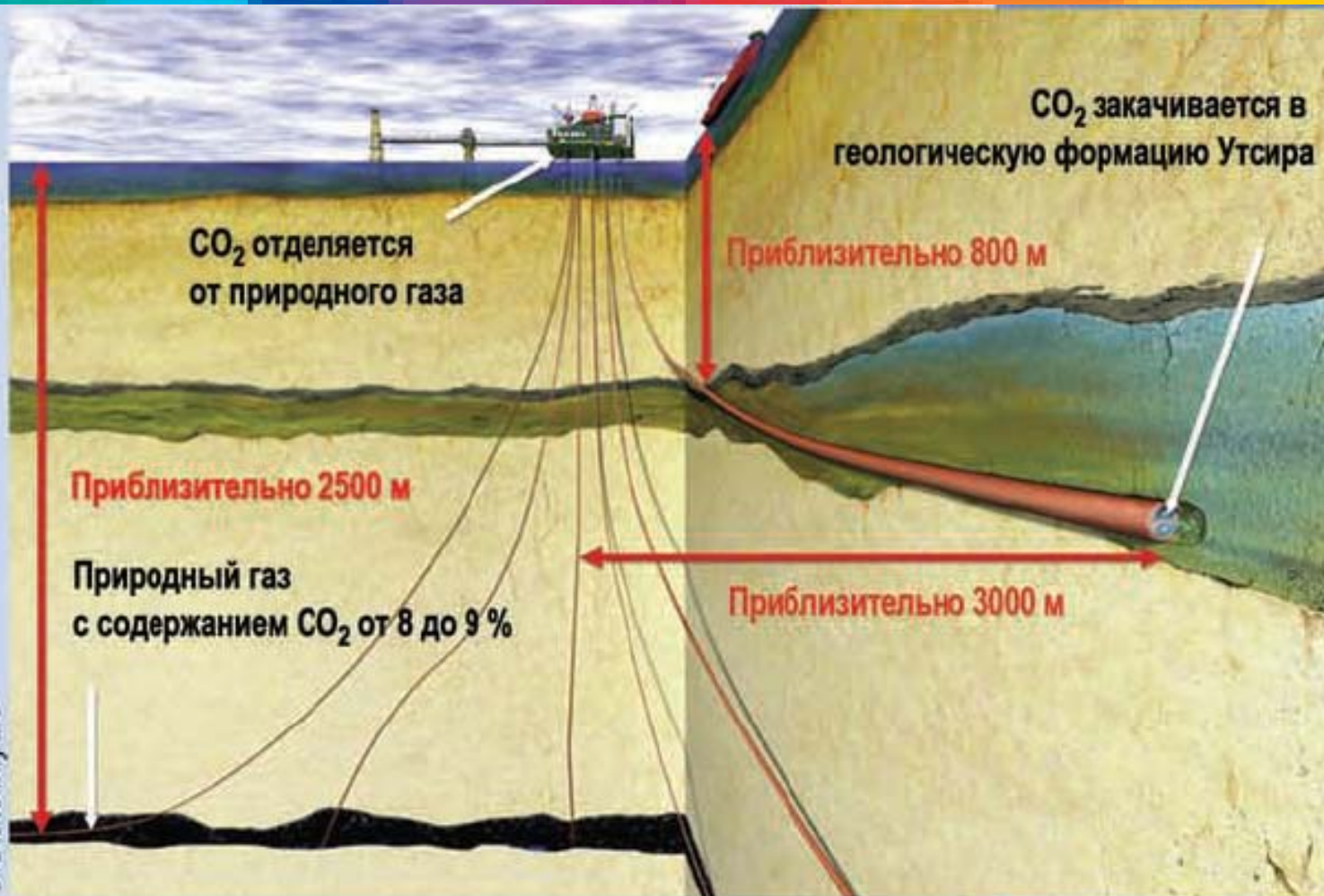
Проект реализуется
Донецким национальным
университетом





Изменение климата и необходимость в геологическом хранении CO₂

Всемирное развитие УХУ процветает



Вертикальный разрез участка хранения CO₂ Слейпнер (Sleipner), Норвегия.

В природном газе, добытом на глубине 2500 метров содержится несколько процентов CO₂, который нужно удалять для соблюдения коммерческих стандартов.

Вместо того, чтобы выпускать его в атмосферу, собранный CO₂ закачивают почти на 1000-метровую глубину в песчаный водоносный горизонт Утсира (Utsira)

© StatoilHydro



Проект финансируется
Европейским Союзом

23.10.2012 – Донецк

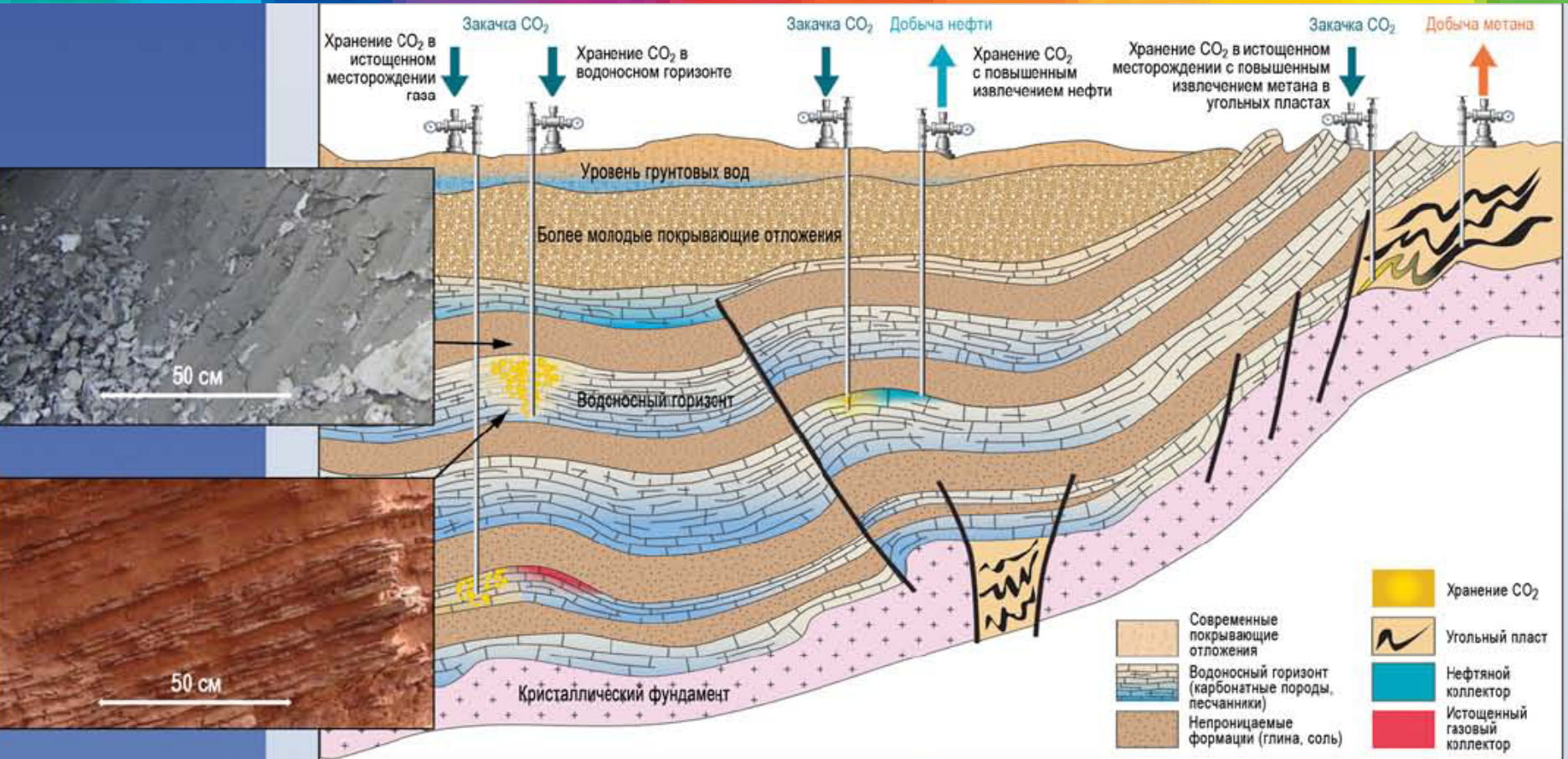
Проект реализуется
Донецким национальным
университетом





Где и сколько CO₂ мы можем хранить под землей?

Коллекторы



© BRGM im@gé

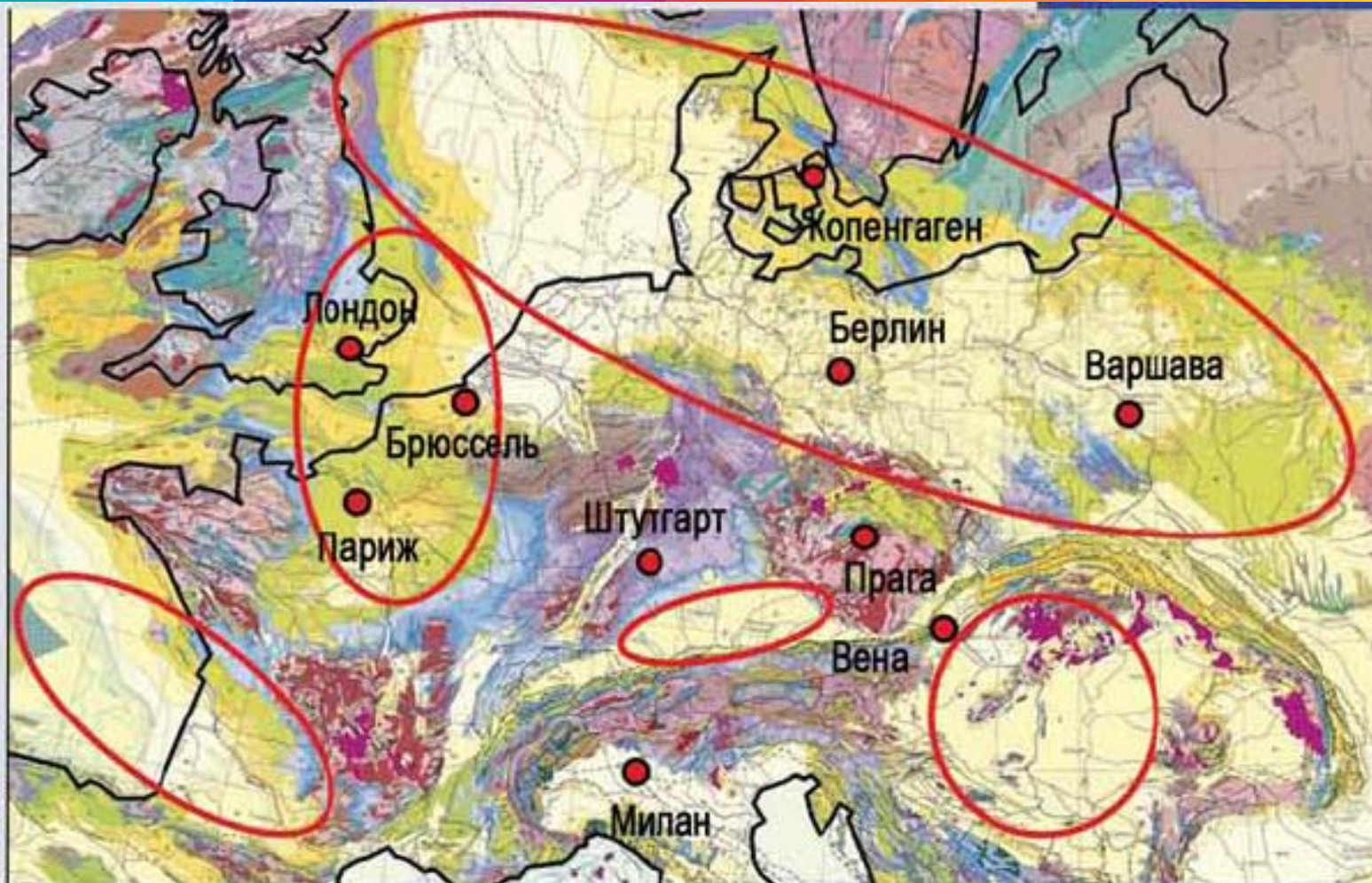
CO₂ закачивают в глубокие геологические слои пористых и проницаемых горных пород (см. песчаник в нижней вставке), которые перекрываются непроницаемыми породами (см. глинистую породу на верхней вставке), препятствующими выходу углекислого газа на поверхность. Основные возможности хранения представляют:

- 1. Истощенные нефтяные/газовые коллекторы с повышенным извлечением нефти/газа там, где это возможно;**
- 2. Водоносные горизонты*, содержащие соленую воду, непригодную для потребления человеком;**
- 3. Глубокие, не имеющие промышленного значения угольные пласты, местами связанные с повышенным извлечением метана.**



Где и сколько CO₂ мы можем хранить под землей?

Где найти участки хранения в Европе



Геологическая карта Европы показывающая расположение основных осадочных бассейнов (красные эллипсы), в которых могут быть найдены подходящие коллекторы для хранения CO₂ (на основе геологической карты Европы масштаба 1:5000000)



Проект финансируется
Европейским Союзом

23.10.2012 – Донецк

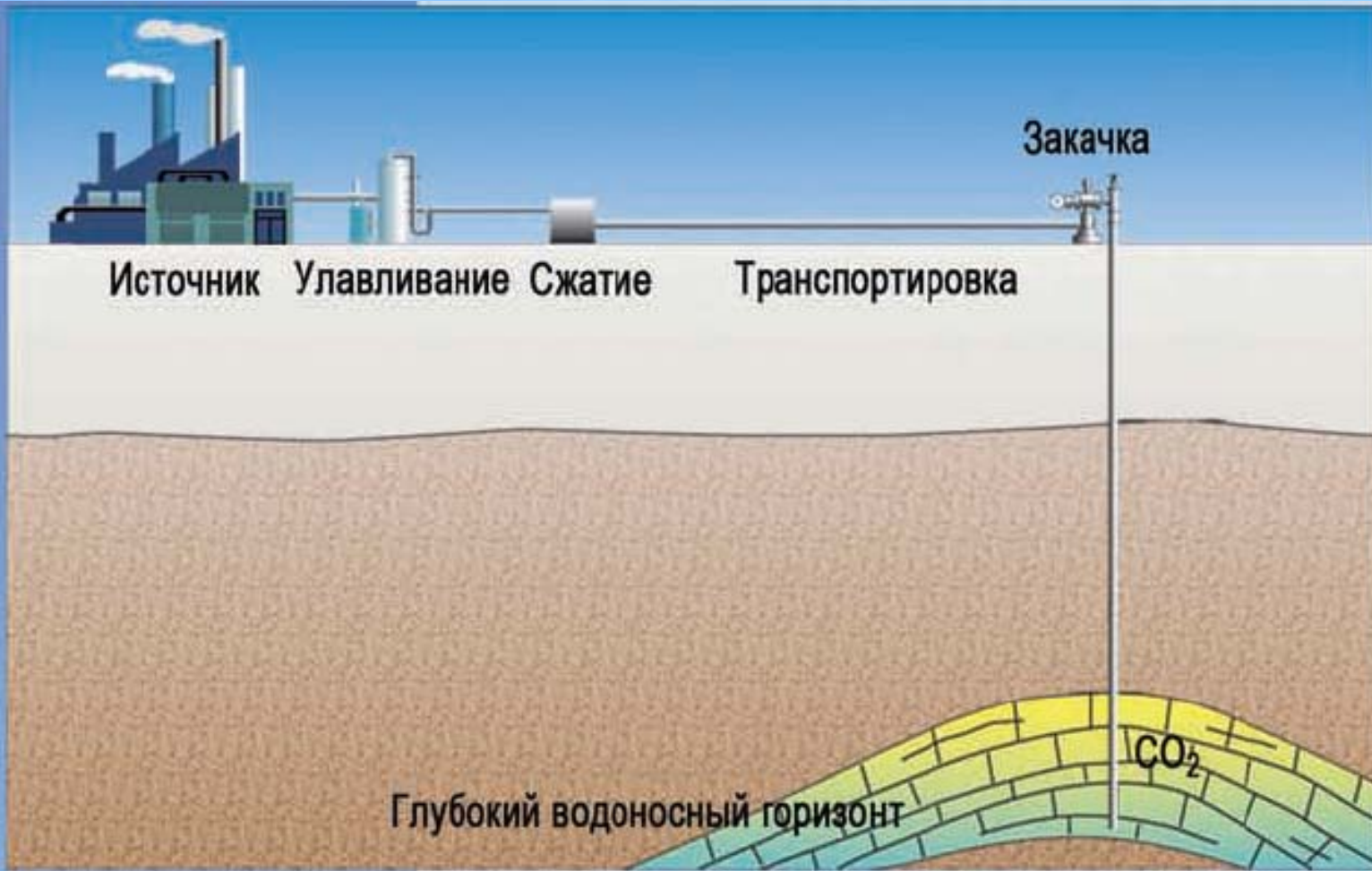
Проект реализуется
Донецким национальным
университетом





Как можно транспортировать и закачивать большие количества CO₂ ?

Этапы геологического хранения CO₂



Чтобы доставить CO₂ от места его выброса к месту его безопасного и долговременного хранения, необходимо пройти всю цепочку операций, включая улавливание, сжатие, транспортировку и закачку

© BRGM im@ge



Проект финансируется
Европейским Союзом

23.10.2012 – Донецк

Проект реализуется
Донецким национальным
университетом

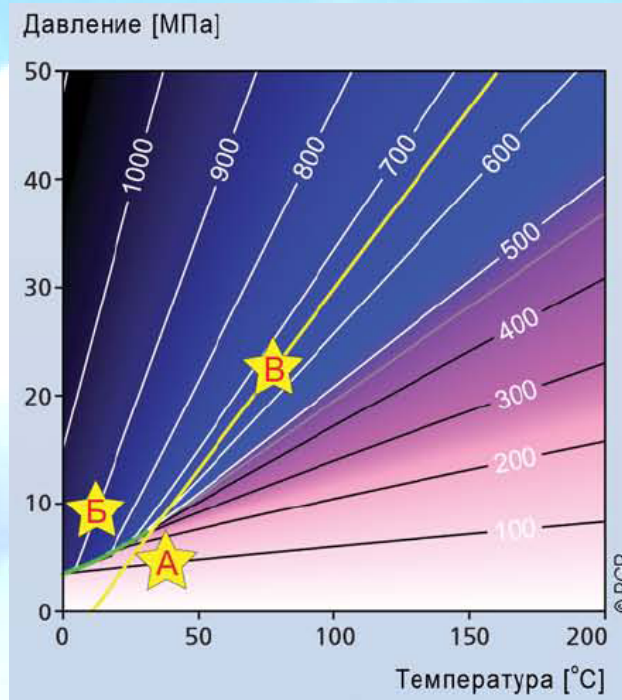
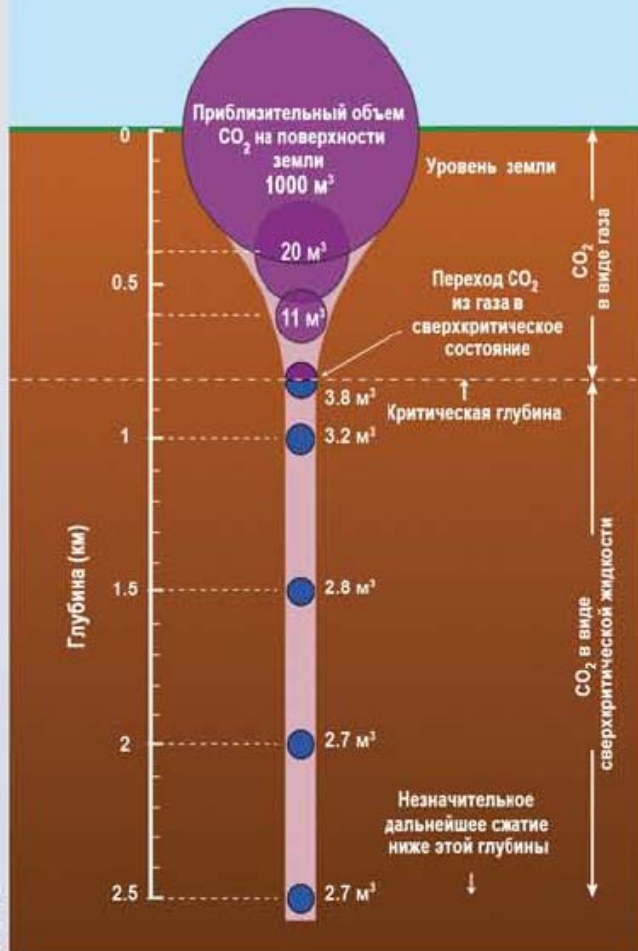




Как можно транспортировать и закачивать большие количества CO₂ ?

Закачка и состав потока CO₂

После закачки под землю, CO₂ приобретает плотное сверхкритическое состояние примерно на глубине 0.8 км. Его объем значительно уменьшается от 1000 м³ на поверхности до 2.7 м³ на глубине 2 км. Это одна из причин, по которой геологическое хранение больших количеств CO₂ выглядит так привлекательно



Плотность чистого CO₂ (в кг/м³) как функция температуры и давления. Желтая линия соответствует типичному градиенту давления и температуры в осадочном бассейне. На глубине более 800 м (-8 МПа), условия резервуара способствуют высоким плотностям (голубой цвет). Зеленая кривая – это граница между газообразной и жидкой фазой CO₂. Типичные условия давления и температуры для улавливания, транспортировки и хранения отмечены соответствующими буквами А, Б и В





Что происходит с CO₂ в коллекторе хранения?



Вид под микроскопом.

ПОРОДА-ПОКРЫШКА

Закачанный CO₂, который легче воды, как правило поднимается и останавливается перекрывающими непроницаемыми породами



Плотный CO₂ поднимается вверх (светло-голубые пузыри), растворяется и вступает в реакцию с зернами породы, что приводит к осаждению карбонатных минералов на поверхности зерен (белые)

Механизмы удержания:

1. Накопление под породой-покрышкой (структурное удержание)
2. Связывание в мелких порах (остаточное удерживание)
3. Растворение (удержание путем растворения)
4. Минерализация (минеральное удержание)



Проект финансируется Европейским Союзом

23.10.2012 – Донецк

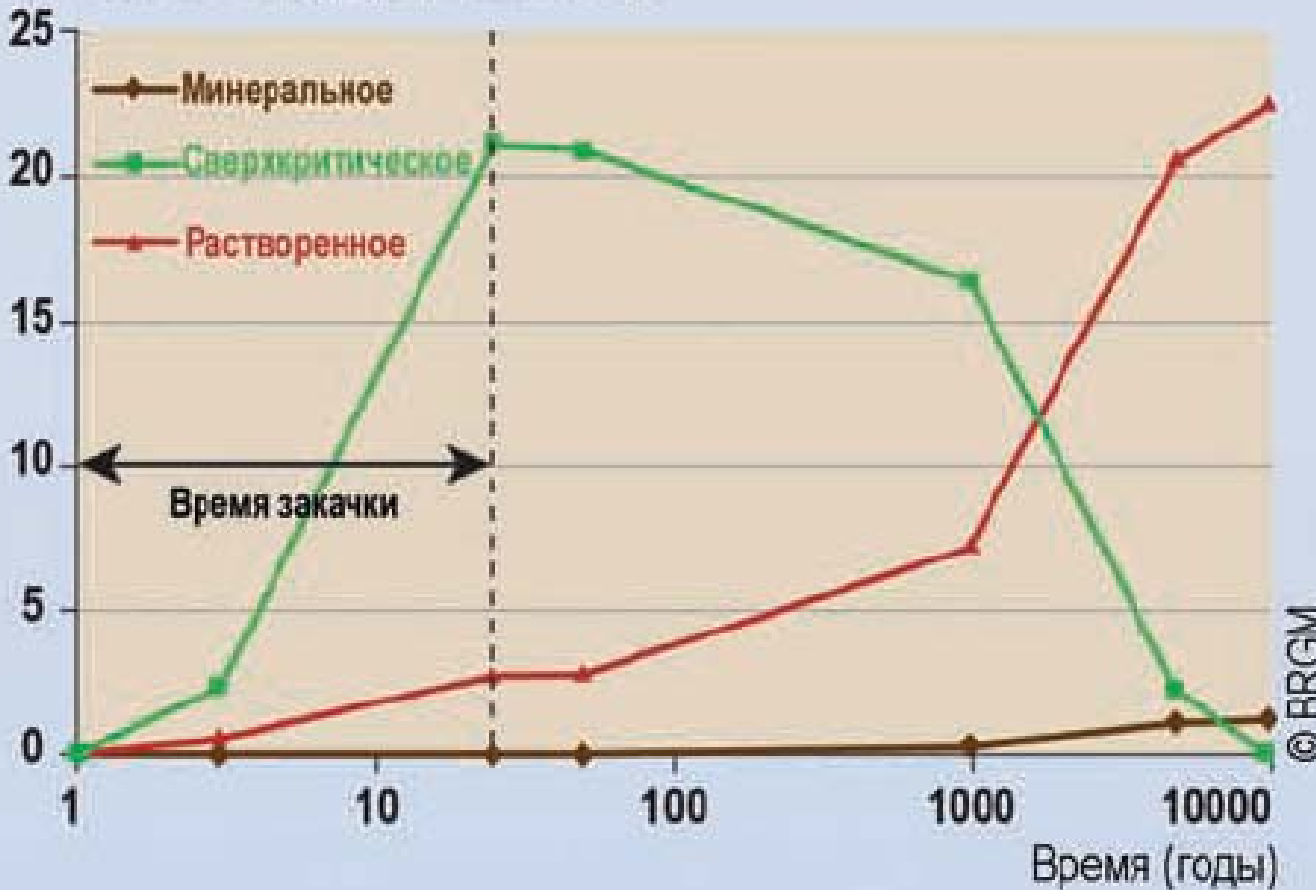
Проект реализуется Донецким национальным университетом





Что происходит с CO_2 в коллекторе хранения?

Миллионы тонн удержанного CO_2



Развитие CO_2 в его различных формах в коллекторе Слейпнер согласно моделированию потока.

CO_2 удерживается:

- в сверхкритическом состоянии механизмами 1 и 2,*
- в растворенном состоянии – механизмом 3, и*
- в минеральной форме механизмом 4*



Проект финансируется
Европейским Союзом

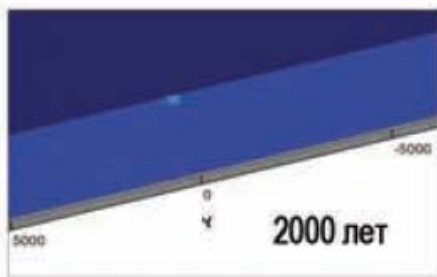
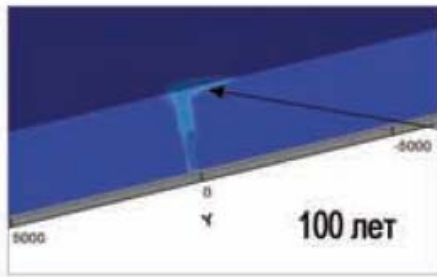
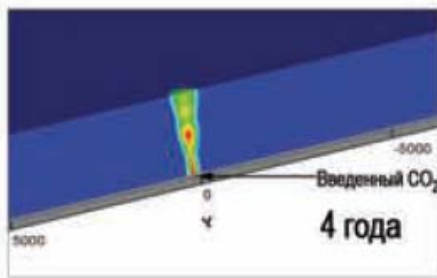
23.10.2012 – Донецк

Проект реализуется
Донецким национальным
университетом





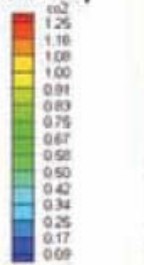
Что происходит с CO₂ в коллекторе хранения?



Суперкритический CO₂ в порах породы



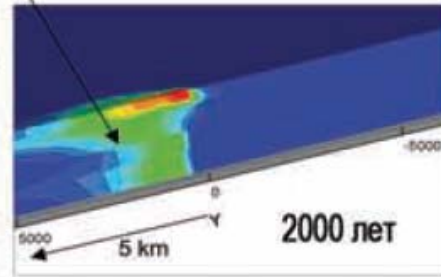
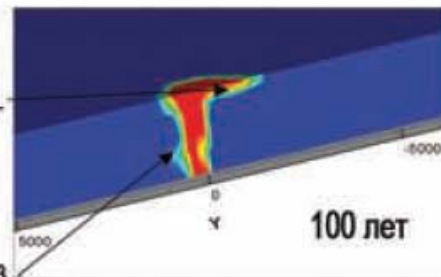
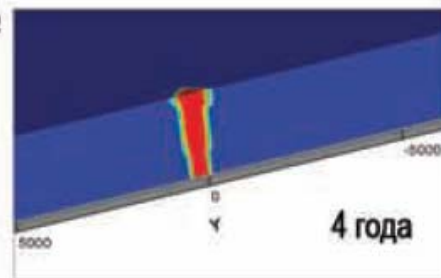
Растворенный CO₂ (моль/кгв)



Суперкритический CO₂, который легче, чем соляной раствор, стремится мигрировать к кровле водоносного горизонта, где он растворяется.

После растворения CO₂ переносится вниз к подошве водоносного горизонта гравитационным и местным течением.

Через 2000 лет CO₂ полностью растворяется и присутствует на расстоянии до нескольких километров ниже по течению от точки закачивания.



© BRGM im@gé

Трёхмерное моделирование движения CO₂ в водоносном горизонте, после закачки 150000 тонн спустя 4 года в водоносном горизонте структуры Доггер во Франции. Здесь изображены CO₂ в сверхкритическом состоянии (слева) и CO₂, растворенный в соленой воде (справа) через 4, 100 и 2000 лет после начала закачки.



Проект фінансується Європейським Союзом

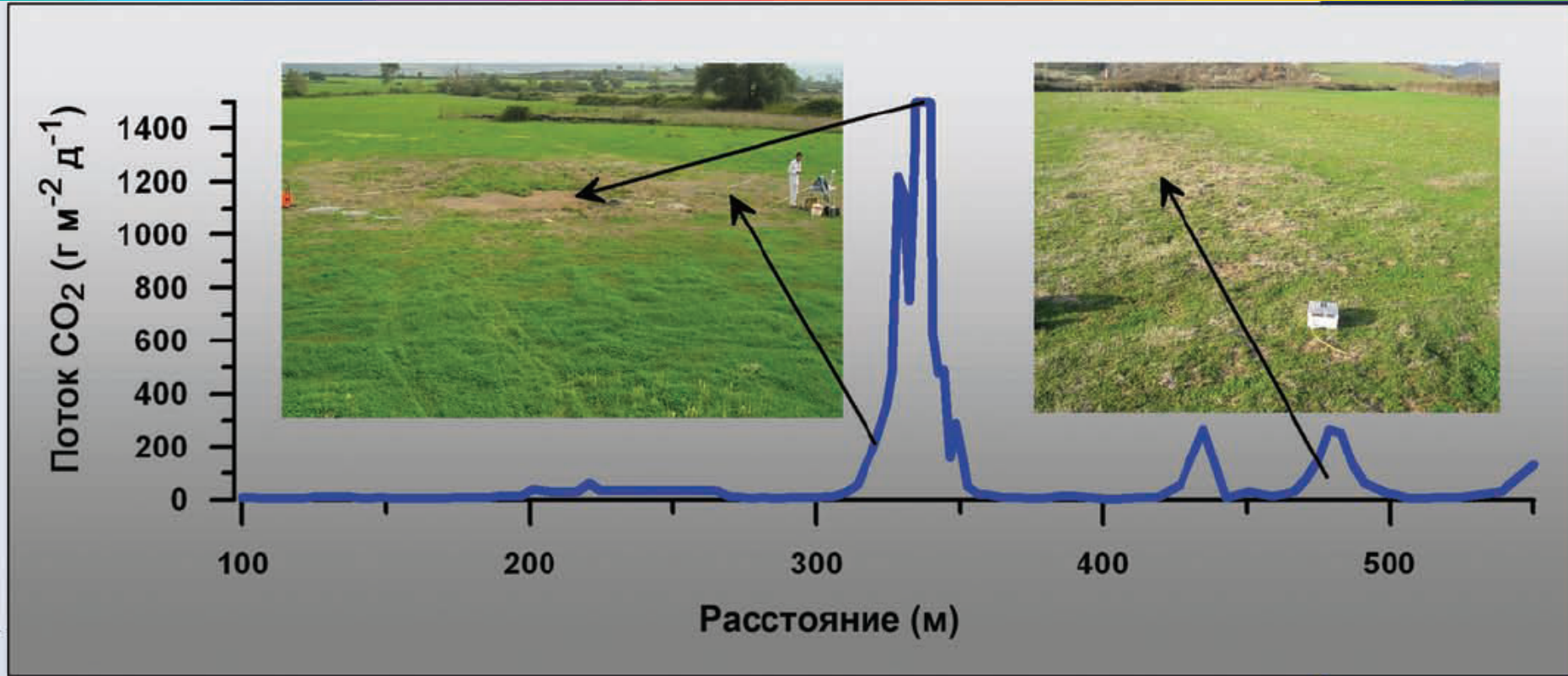
14.08.2012 р., м. Донецьк

Проект реалізується Донецьким національним університетом





Может ли CO_2 вытекать из коллектора и, если да, то какими могут быть последствия?



Влияние на растительность утечки CO_2 с повышенным (слева) и пониженным (справа) потоком.

Влияние ограничено территорией, на которой CO_2 выходит наружу.



Проект финансируется
Европейским Союзом

23.10.2012 – Донецк

Проект реализуется
Донецким национальным
университетом





Как можно контролировать участки хранения в глубине и на поверхности земли?

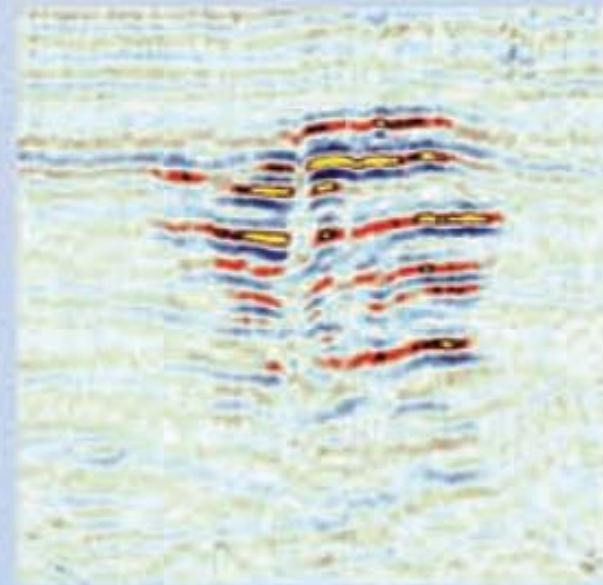
До закачки (1994)



2.35 Мт CO₂ (1999)



4.36 Мт CO₂ (2001)



© StatoilHydro

Сейсмическое изображение для мониторинга ореола распространения CO₂ в пилотном проекте Слейпнер до закачки (которая началась в 1996) и после закачки (соответственно спустя 3 и 5 лет).



Проект финансируется
Европейским Союзом

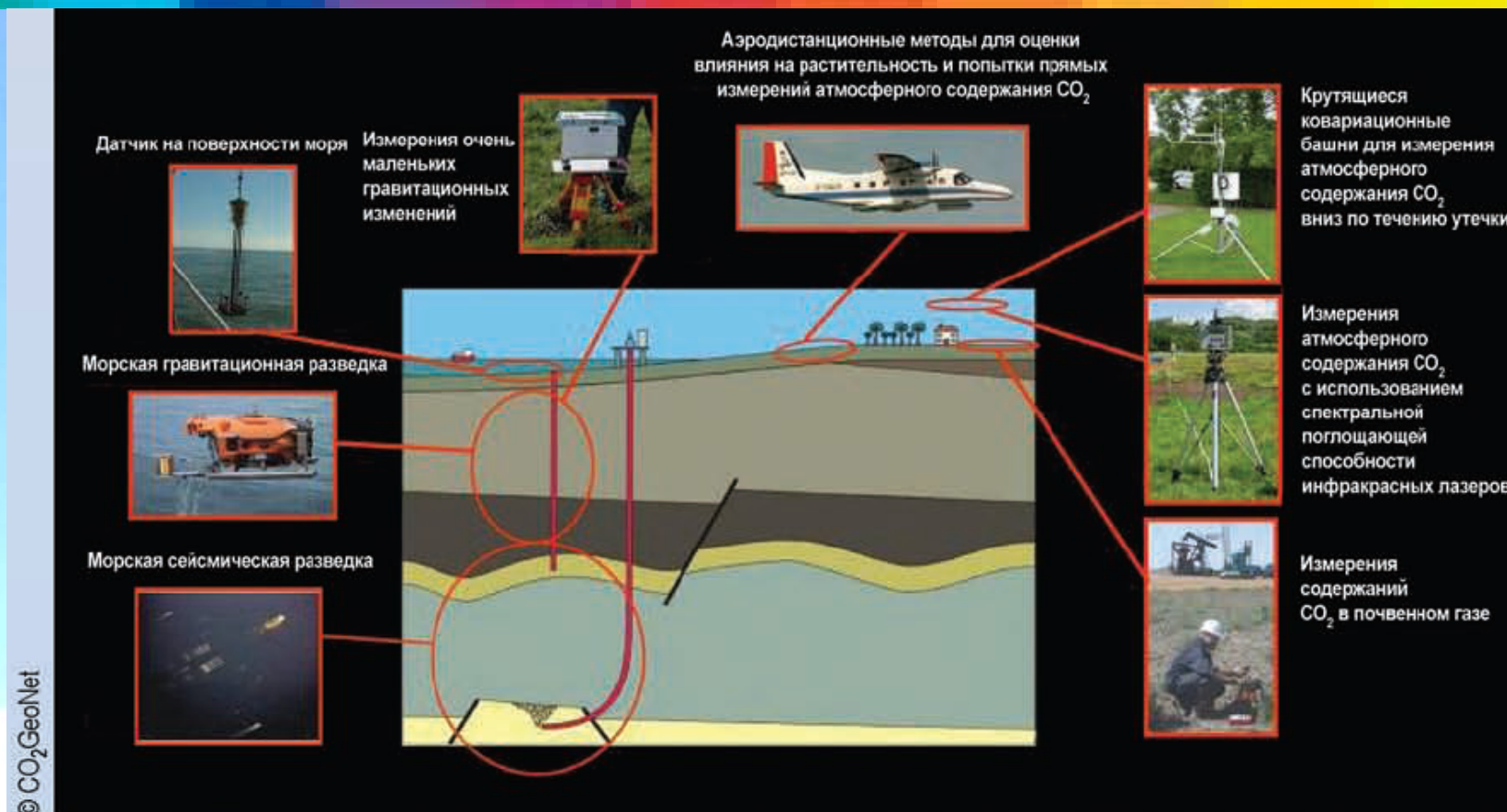
23.10.2012 – Донецк

Проект реализуется
Донецким национальным
университетом





Как можно контролировать участки хранения в глубине и на поверхности земли?



Небольшая выборка, показывающая спектр методов, имеющих для мониторинга различных компонентов системы хранения CO_2



Проект финансируется
Европейским Союзом

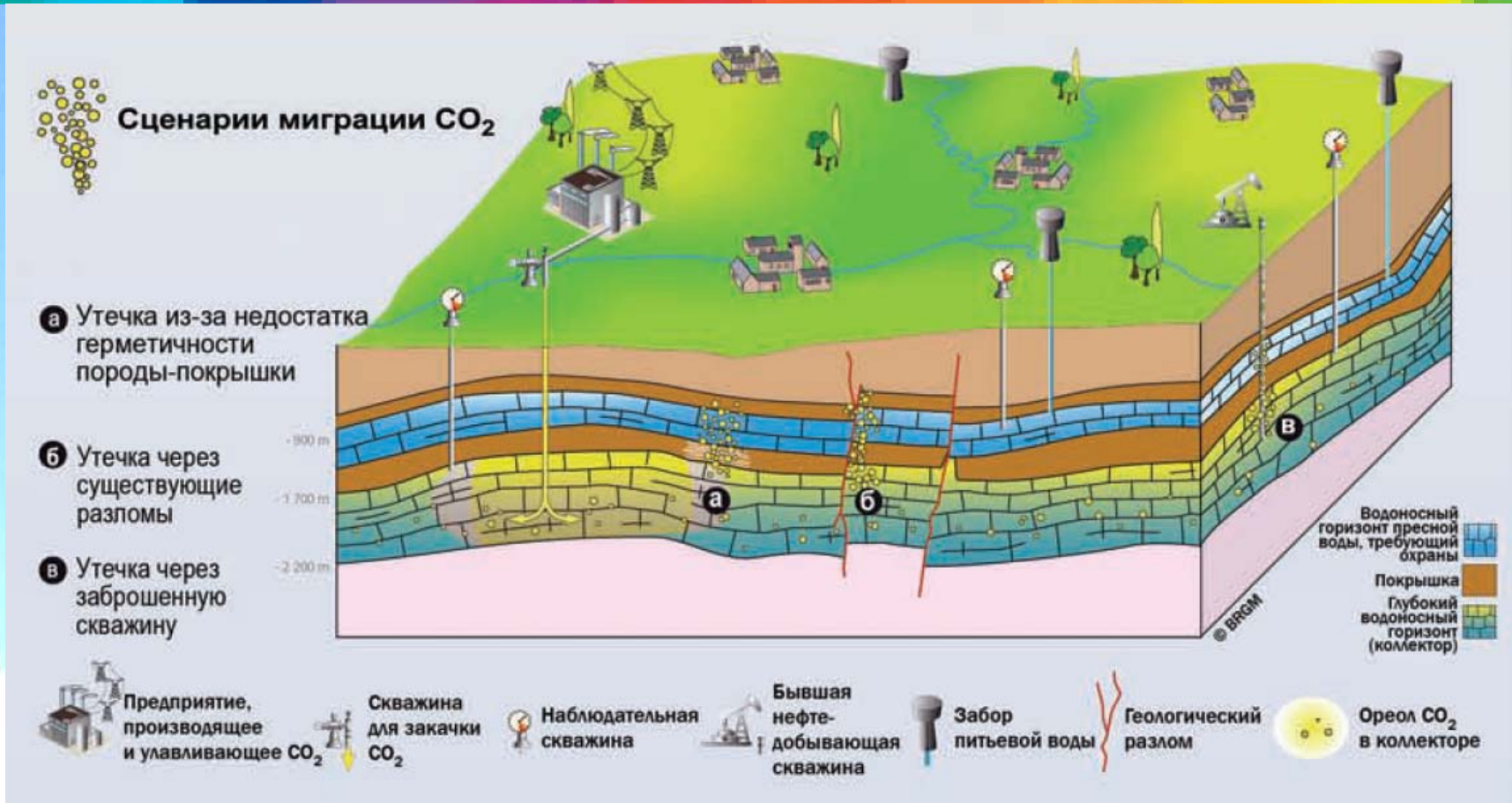
23.10.2012 – Донецк

Проект реализуется
Донецким национальным
университетом





Какие критерии безопасности должны быть установлены и учтены?



Пример возможных сценариев утечек



Проект финансируется
Европейским Союзом

23.10.2012 – Донецк

Проект реализуется
Донецким национальным
университетом



Дякую за увагу!



Координатор проекта LCOIR-UA: **Шеставин Николай Степанович**



Проект финансируется
Европейским Союзом

23.10.2012 – Донецк

Проект реализуется
Донецким национальным
университетом

