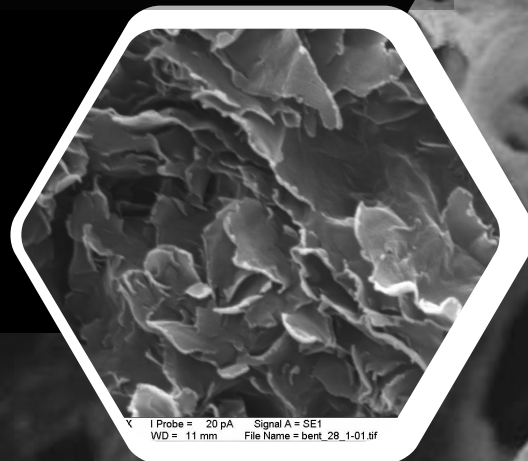


**Научный центр по
разработке и оценке
долговременной
безопасности инженерных
барьеров при изоляции РАО
(НЦ «Инженерные барьеры»)**

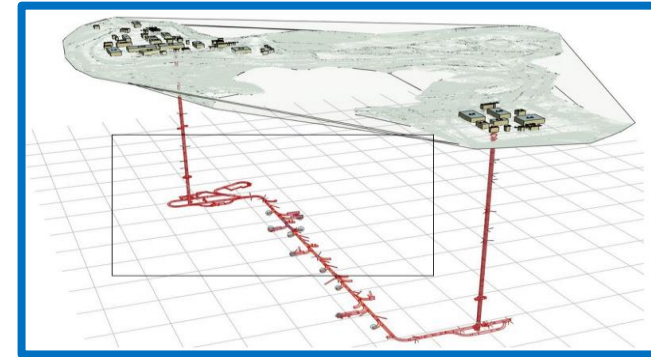


I Probe = 20 pA Signal A = SE1
WD = 11 mm File Name = bent_28_1-01.tif

Научная программа исследований 2018-2030



Комплексная программа исследований в обоснование долговременной безопасности захоронений РАО и оптимизация эксплуатационных параметров (Стратегический мастер-план исследований в обоснование безопасности сооружения, эксплуатации и закрытия ПГЗРО в Нижнеканском массиве (Красноярский край))

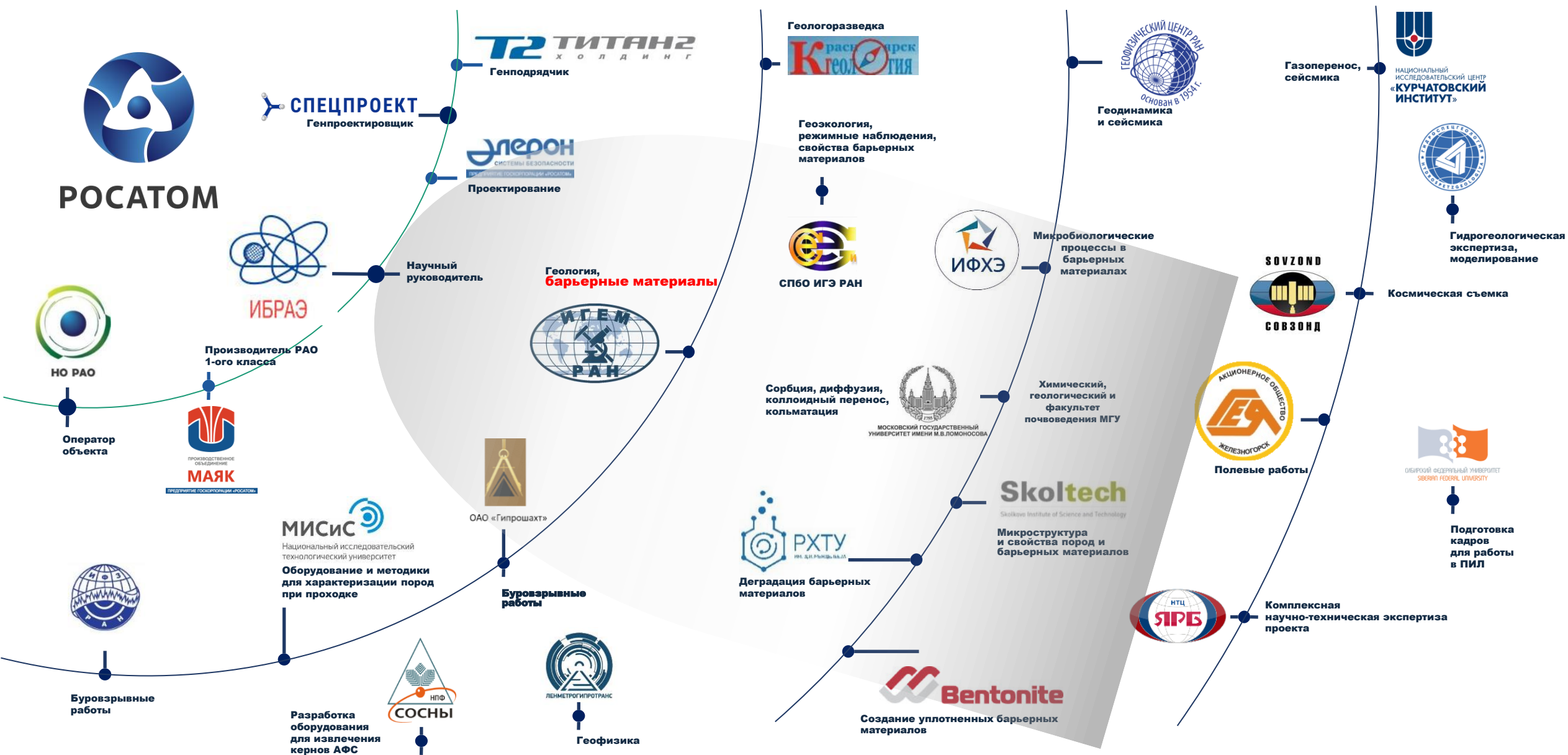


Элемент Действие	Геосфера	ИББ	РАО	Оборудование	Биосфера
Мониторинг	<ul style="list-style-type: none"> Геодинамика и НДС (6) Геохимия (4) Гидрогеология (3) Режимные наблюдения (2) 	-	<ul style="list-style-type: none"> Реестр РАО (2) 	-	<ul style="list-style-type: none"> Режимные наблюдения (3)
Отработка технологий	<ul style="list-style-type: none"> Состояние скважин (1) Проходка выработок (7) 	<ul style="list-style-type: none"> Закладка барьерных материалов (8) Изготовление инженерных барьеров (7) 	<ul style="list-style-type: none"> Подготовка к захоронению (6) 	<ul style="list-style-type: none"> Захоронение (7) Новое оборудование (8) 	-
Аналитические оценки и моделирование	<ul style="list-style-type: none"> Геофильтрационная-геомиграционная модель (4) Гидрологическая модель (2) НДС модель (2) Структурная геологическая модель (3) 	<ul style="list-style-type: none"> Модели эволюции барьерных материалов (7) Модель миграции (3) 	<ul style="list-style-type: none"> Выход радионуклидов (1) Критерии приемлемости (2) 	<ul style="list-style-type: none"> Моделирование эксплуатационного периода (1) 	<ul style="list-style-type: none"> Радиационное воздействие на население и окружающую среду (2) Долгосрочные прогнозы (4)
Натурные исследования	<ul style="list-style-type: none"> Исследования геологической среды (11) Гидрогеология (7) Миграционные свойства геосферы (6) Напряженно-деформированно состояние (14) 	<ul style="list-style-type: none"> Микробиологические исследования (2) Химические процессы и условия (4) Эксплуатация инженерных барьеров (3) 	-	-	-
Лабораторные, стендовые и промышленные исследования	<ul style="list-style-type: none"> Миграционные свойства геосферы (4) Свойства горных пород (3) Свойства подземных вод (3) Фильтрационные свойства (2) 	<ul style="list-style-type: none"> Коллоиды (1) Миграционные свойства барьеров (1) Процессы (6) Физические свойства (2) 	<ul style="list-style-type: none"> Выщелачивание (2) Методики контроля (2) 	-	-
Сопровождение реализации Проекта	<ul style="list-style-type: none"> База знаний (5) Инженерно-техническое сопровождение (25) Научное сопровождение (5) 		<ul style="list-style-type: none"> Нормативное обеспечение (2) Обоснование долговременной безопасности (4) Управление проектом (3) 		

Получение экспериментальных данных (количество экспериментов)	2019	2020	2021	2022	2023 (прогноз)
Функциональные свойства	30	110	160	400	500
Эволюция ИББ в прогнозируемых условиях	10	30	70	150	250
В том числе анализ изменения вмещающих пород на контакте с ИББ		10	25	40	70
Миграционные свойства по отношению к радионуклидам		10	20	100	250



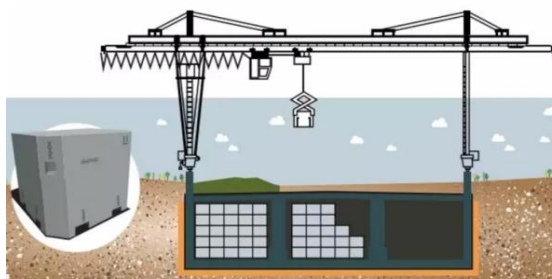
В работах по ПГЗРО задействовано на 2022 год более 20 организаций





Федеральная целевая программа «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016 – 2020 годы и на период до 2035 года»

2020: Программа научно-технологического обеспечения работ по обоснованию выбора барьерных глинистых материалов, применяемых при реализации проектов на заключительной стадии жизненного цикла объектов использования атомной энергии



ФЦП ЯРБ-1

Решение самых острых и неотложных проблем ЯН

2008

2015



#карачай #маяк



#пугр #эй2 #одцугр

Факт

по итогам завершения ФЦП ЯРБ-1

Объекты не вводились

29 386

83,9

53

2 699

РАО не захоранивались

16



ФЦП ЯРБ-2

Планомерный перевод объектов ядерного наследия в безопасное состояние

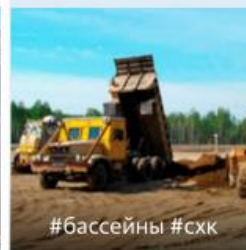
2016

2020

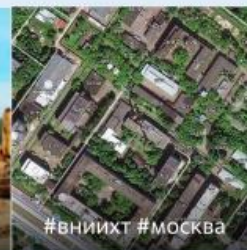
2025

2030

2035



#бассейны #схк



#вниихт #москва



#бр10 #фэи



#пугр #гхк

План

к завершению ФЦП ЯРБ-2

407

тыс. м³

80 064

штук

2 521,3

тонн

76

единиц

1 304,4

тыс. м²

155,2

тыс. м³

100

%

Целевые показатели

Ввод в эксплуатацию объектов окончательной изоляции РАО

Вывоз на централизованное хранение ОТВС

Переработка ОЯТ

Вывод из эксплуатации ЯРОО

Реабилитация территорий

Захоронение РАО

Оснащенность центров гигиены и эпидемиологии ФМБА России

(А) В рамках Госзадания ИГЕМ РАН

- Трансформационные преобразования глинистых минералов в ходе геологических и технологических процессов
- Стабильность глинистых минералов в техногенных процессах
- Влияние особенностей строения глинистых минералов на сорбционные и другие свойства (на основе экспериментальных данных по синтезированным минералам с разными структурными особенностями)

(Б) В рамках научно-исследовательских проектов (РНФ и др)

- Состав и свойства глинистого сырья месторождений РФ и других стран
- Особенности генезиса и строения глинистых минералов
- Глинистые минералы как сорбенты тяжелых металлов и радионуклидов
- Глинистые минералы как компоненты изоляционных барьеров безопасности при изоляции радиоактивных отходов
- Контактные взаимодействия материалов инженерных барьеров

(В) В рамках Договоров с другими организациями

- Разработка функций безопасности системы ИББ им отдельных компонентов
- Разработка уникального оборудования для оценки свойств инженерных барьеров
- Проведение испытаний компонентов ИББ (в первую очередь, глинистых и бетонных материалов) для комплексной оценки их свойств (физических, водно-физических, механических, химических и др.)
- Разработка и проведение экспериментов для комплексной оценки процессов, протекающих в системе ИББ



Научно-исследовательские проекты (за 10 лет):
 РФФИ – 3 проекта
 РФФИ – 4 проекта

Договорные работы (за 10 лет):
 ИБРАЭ РАН (ГК «Росатом»)
 МГУ им. М.В. Ломоносова (ФГУП «Радон»)
 ОАО «СХК»
 ВНИПИПТ

Научных публикаций - >170
 Количество статей Q1/Q2 - >30 за 10 лет

Партнеры и коллеги:



Системность исследований материалов и компонентов ПЗРО

Атомный масштаб

Микро-масштаб

Макро-масштаб

Геологический масштаб

Полномасштабные долгосрочные эксперименты в ПИЛ

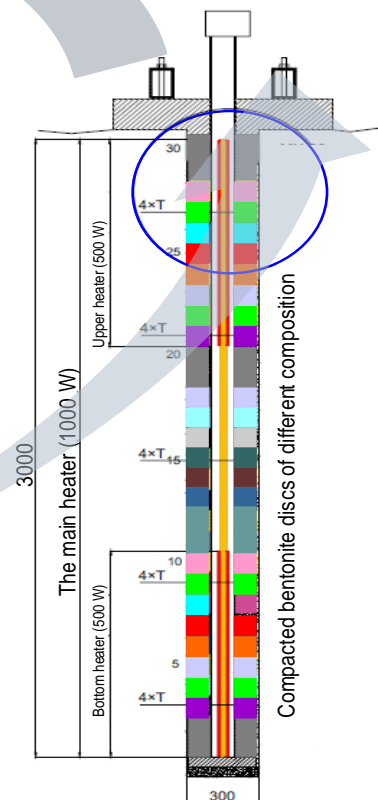
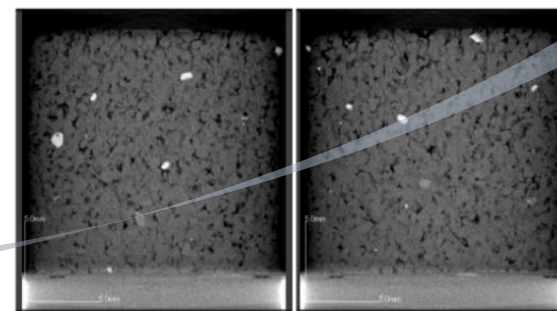
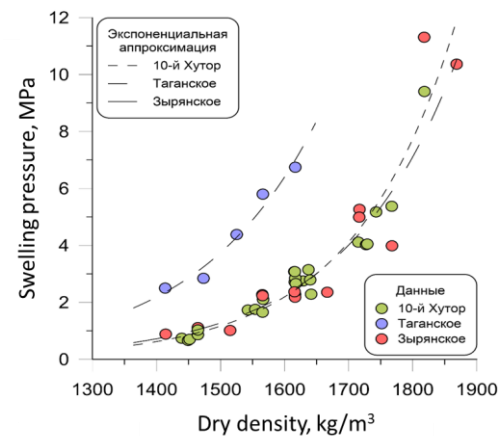
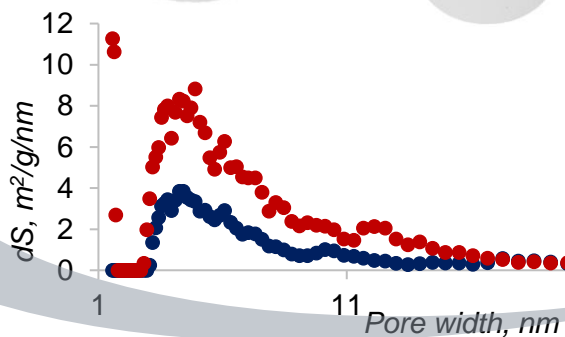
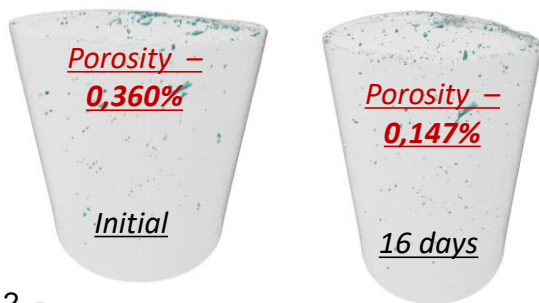
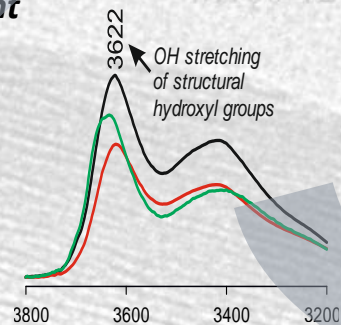
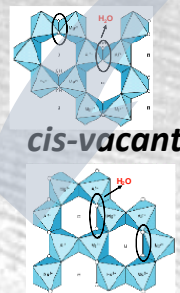
Лабораторные испытания свойств и эволюции

Строение пор и адсорбция

Строение минералов

trans-vacant

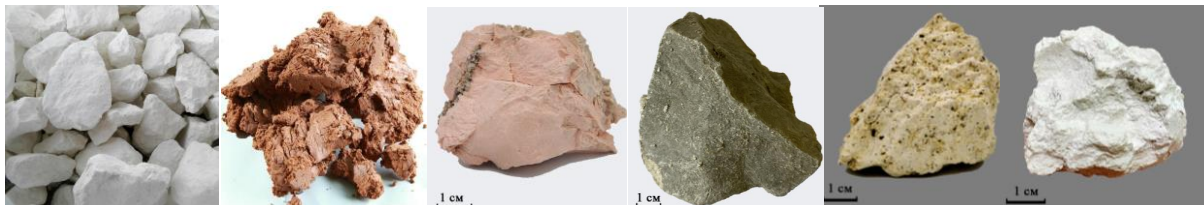
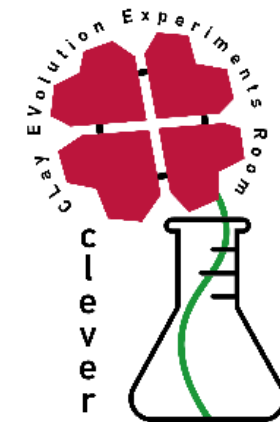
cis-vacant



Свойства глинистых материалов являются функцией от их атомарного состава и строения



Лаборатория экспериментального изучения эволюции глинистых материалов



I –

Изучение критических свойств глинистых материалов:

- эксплуатационные свойства
- прочностные свойства
- гидроизоляционные
- сорбционные/миграционные по отношению к радионуклидам

II - Изучение эволюции материалов в модельных условиях ПЗРО

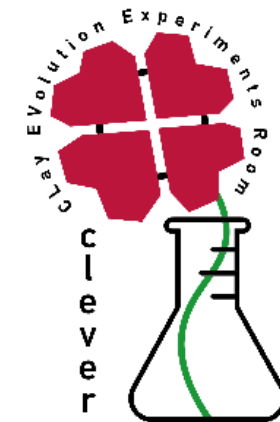
- модельные эксперименты по преобразованию отдельных компонентов ИББ
- модельные эксперименты в условиях воздействий микробных сообществ
- граничные преобразования в модельных условиях

III –

Подготовка экспериментов в ПИЛ

- средне-масштабные эксперименты
- макетные испытания
- подготовка полномасштабных экспериментов

Лаборатория экспериментального изучения эволюции глинистых материалов



Системность исследований материалов и компонентов ПЗРО

Лабораторные эксперименты:

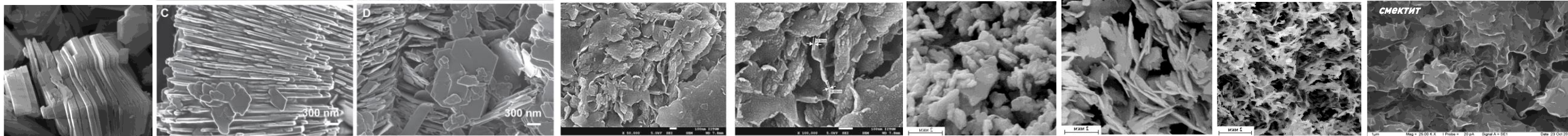
- Состав и преобразования состава материалов барьеров
- Стабильность материалов инженерных барьеров
- Взаимодействие материалов и контактные взаимодействия
- Вопросы коррозии и эрозии
- Эволюция материалов ИББ

Стендовые испытания:

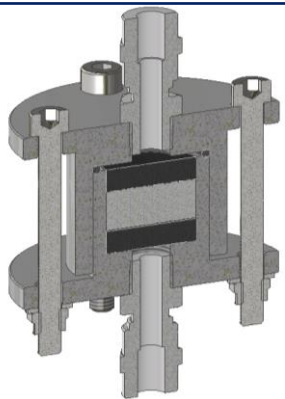
- Изучение процессов в модельных условиях хранилищ/захоронений
- Контактные взаимодействия компонентов барьеров
- Оценка скоростей развития процессов
- Оценка размерного эффекта

Полномасштабные эксперименты

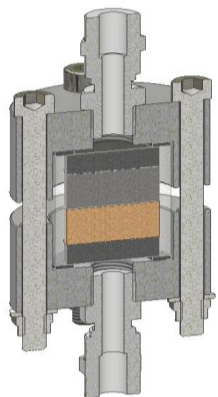
- Численная оценка процессов, протекающих в барьерах в прогнозируемых условиях
- Оценка сохранения системой ИББ функций безопасности
- Подготовка экспериментов в ПИЛ



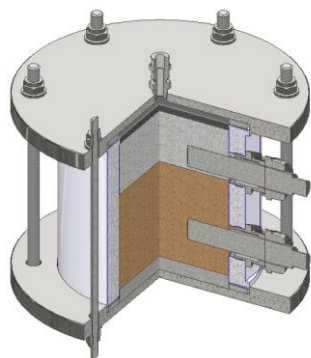
Фильтрационные ячейки



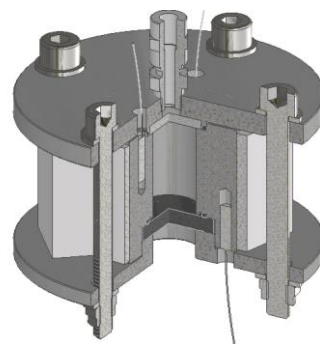
«Бетон»



«Бетон/Бентонит»



«Сталь-Бентонит»



« γ -Излучение»

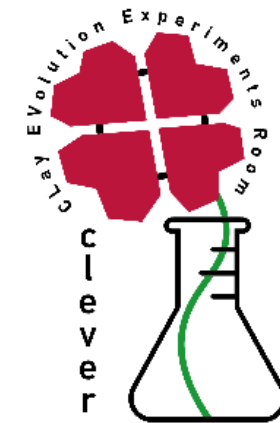
Экспер. ячейки



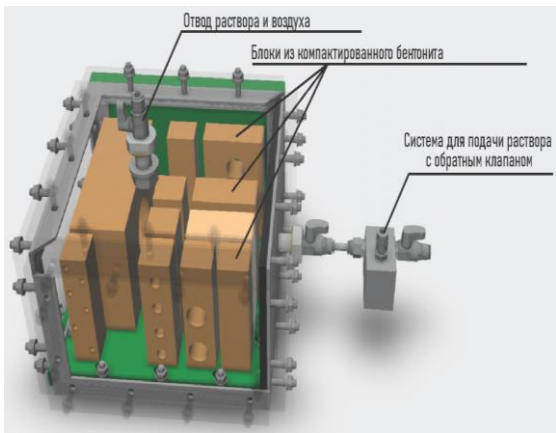
а



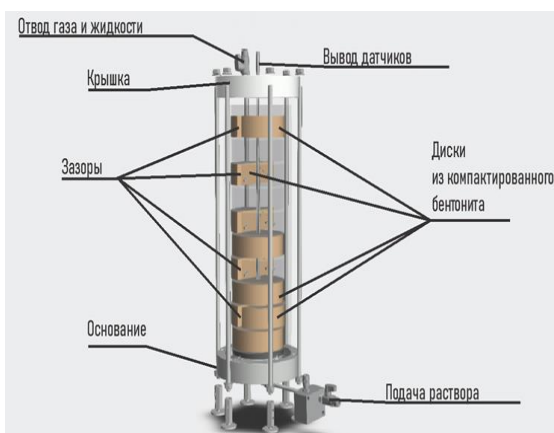
б



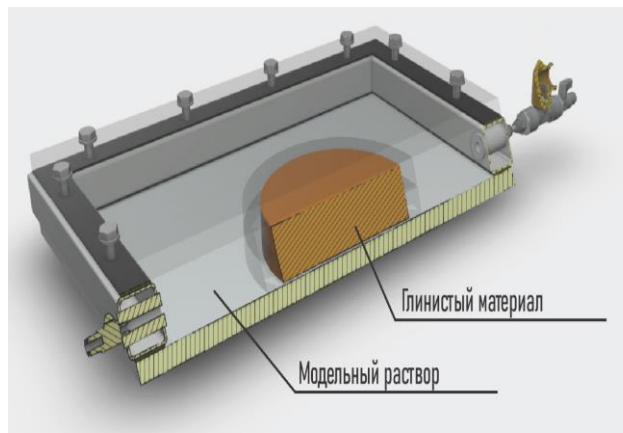
Макетные испытания и средне-масштабные эксперименты



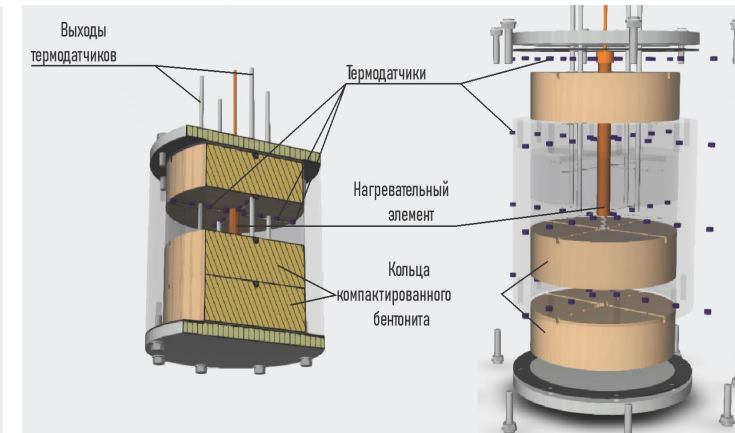
«Самозалечивание»



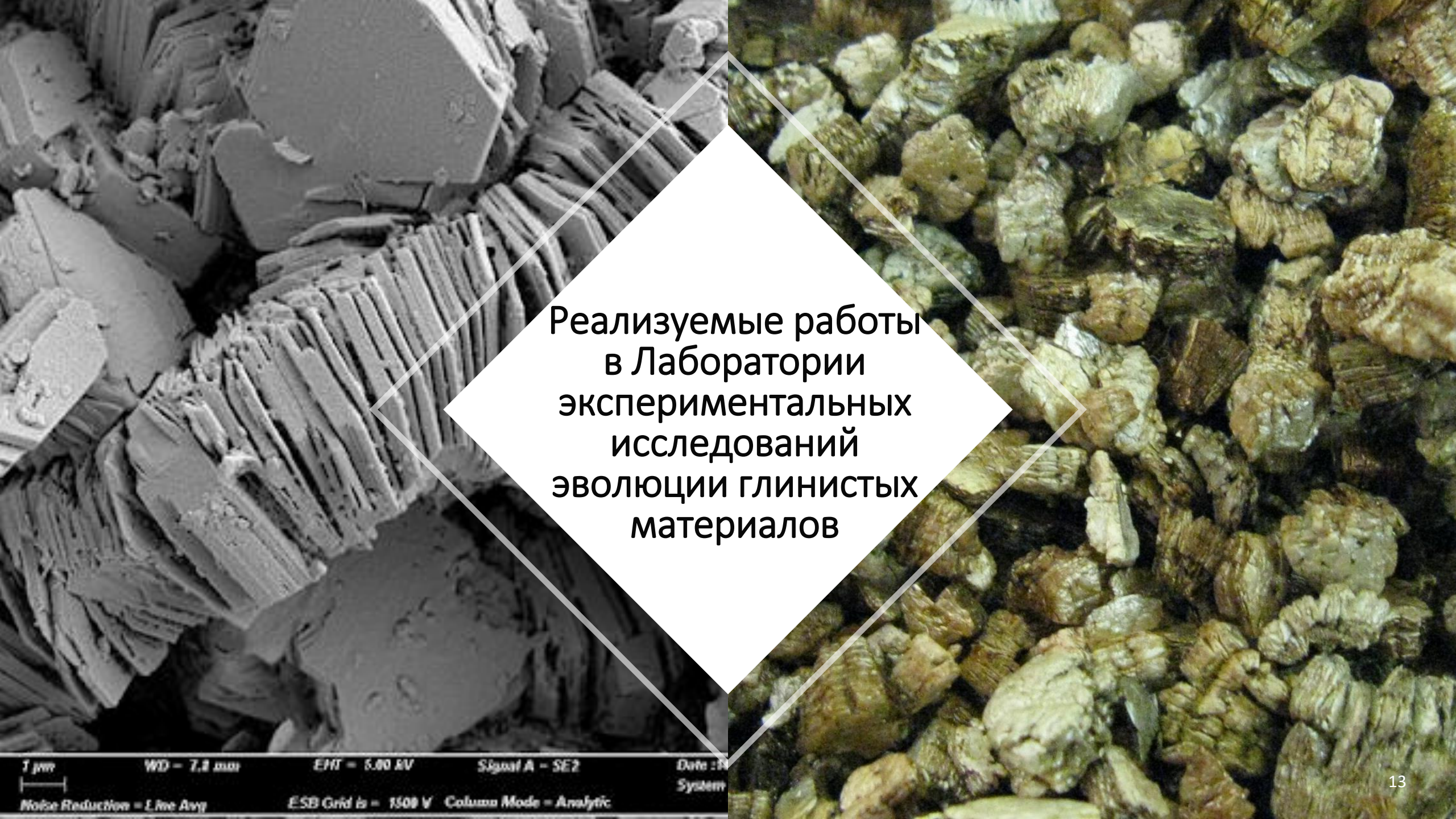
«Водонасыщение»



«Эрозия»



«Нагрев – буфер/контейнер»

The image is a composite of two scanning electron microscope (SEM) images of clay minerals. The left image shows a dark, layered structure with a scale bar of 1 μm. The right image shows a lighter, more irregular structure. A white diamond-shaped box is overlaid in the center, containing the title text.

Реализуемые работы
в Лаборатории
экспериментальных
исследований
эволюции глинистых
материалов

1 μm

WD = 7.1 mm

ENT = 5.00 kV

Signal A - SE2

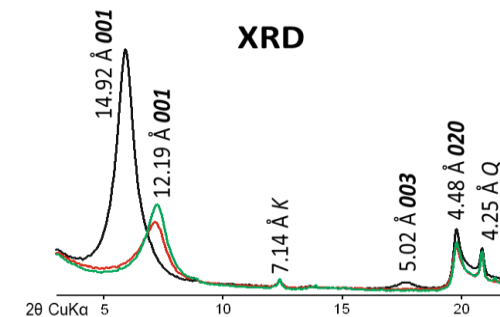
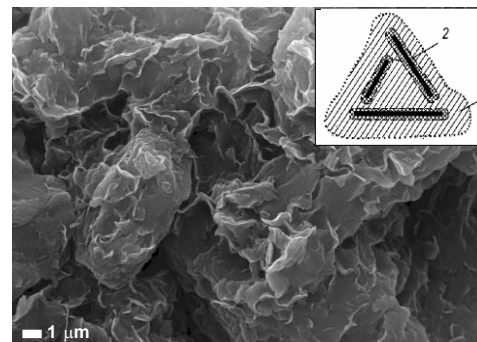
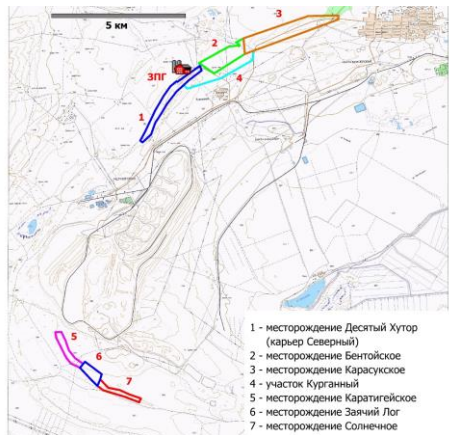
Date : N

Noise Reduction = Line Avg

ESB Grid b = 1500 V Column Mode = Analytic

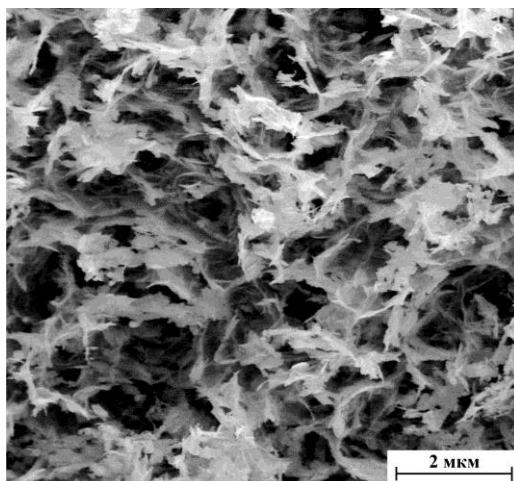
System

1 – изучение состава и строения горных пород и материалов

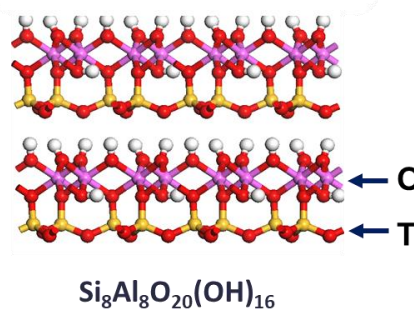


Свойства глинистых материалов являются функцией от их атомарного состава и строения

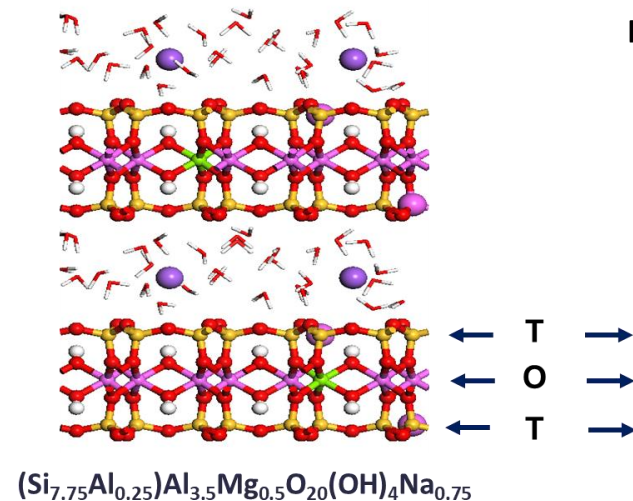
СМЕКТИТ



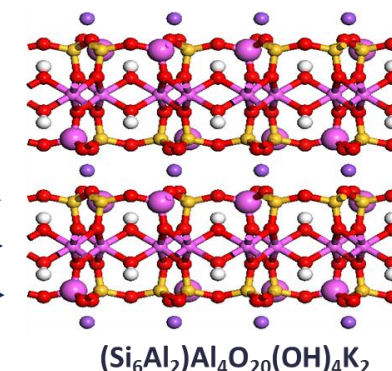
Каолинит -
нет слоевого заряда



Смектит (монтмориллонит) –
средняя величина слоевого заряда

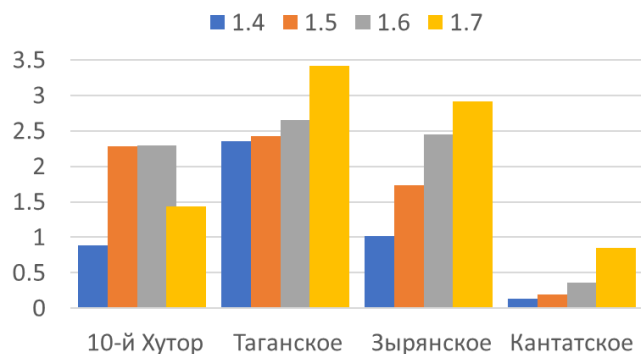


Иллит – высокое значение
слоевого заряда



2 – Изучение критических свойств глинистых материалов ИББ

Предел прочности на одноосное сжатие



1. Физико-механические свойства

- Прочностные свойства (одноосное сжатие, трехосное сжатие, растяжение, сдвиг, восстановление прочности)
- Деформационные свойства (компрессионное сжатие, трехосное сжатие)

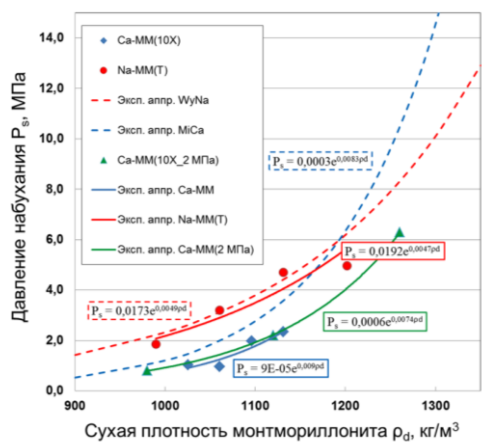
2. Набухаемость

(деформация, давление, влажность, период набухания)

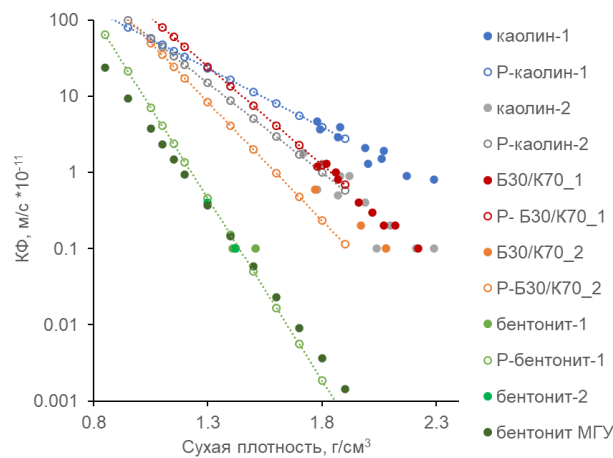
3. Водопроницаемость

(коэффициент фильтрации, проницаемость, начальный градиент)

Набухаемость

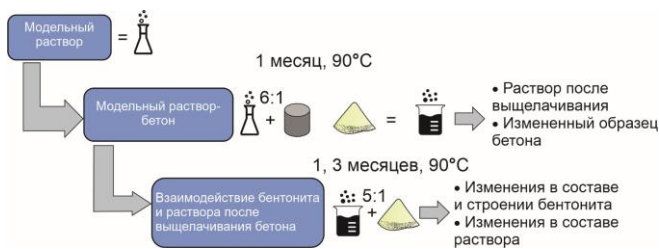


Фильтрация



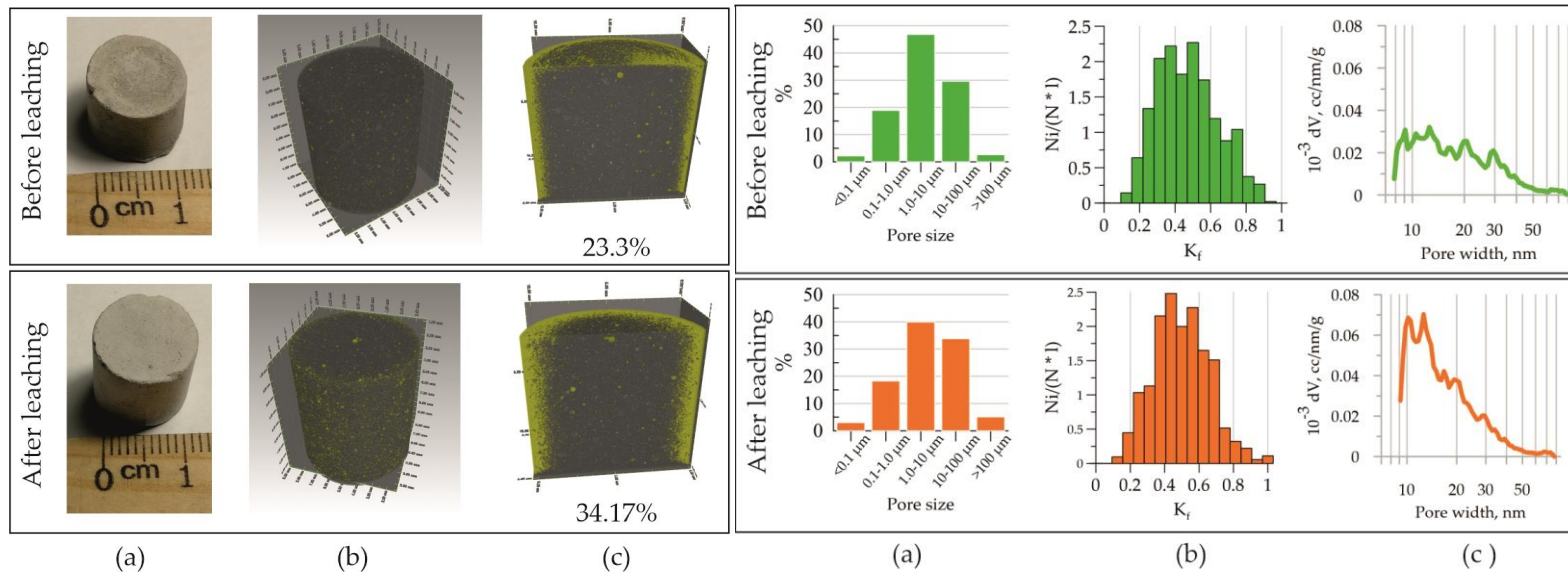
Тип материала	Коэффициент фильтрации, м/с, при плотности скелета:	
	1,7 г/см ³	1,05 г/см ³ *
Бентонит 10X	8·10 ⁻¹⁴	3·10 ⁻¹¹
Бентонит Камалинское	5·10 ⁻¹⁴	6·10 ⁻¹¹
Каолины КГПО-23 и Т-2	(2-6)·10 ⁻¹¹	(4,9-5)·10 ⁻¹⁰
Лабораторные смеси (30Б/70 К)	2·10 ⁻¹¹ - 4·10 ⁻¹²	(4-9)·10 ⁻¹⁰

3 – эволюция материалов ИББ в прогнозируемых условиях



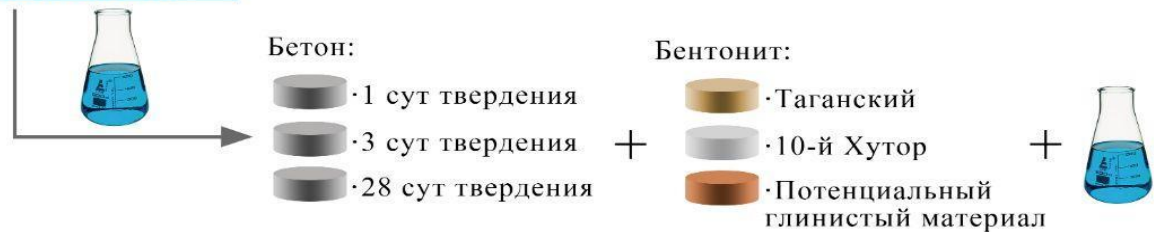
	Исходный	1 месяц	3 месяца
Fe^{2+}/Fe^{3+}	0.19	0.11	0.10

	Na ⁺	Al ³⁺	Si ⁴⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl	SO ₄ ²⁻	pH
Модельный раствор	8.87	-	-	1.15	4.95	12.2	25.6	4.95	6.1
Раствор после выщелачивания	67.8	0.01938	0.3877	119.82	0.000411	0.8034	-	-	12.1



Используемые методы и оборудование

Модельный раствор участка «Енисейский»



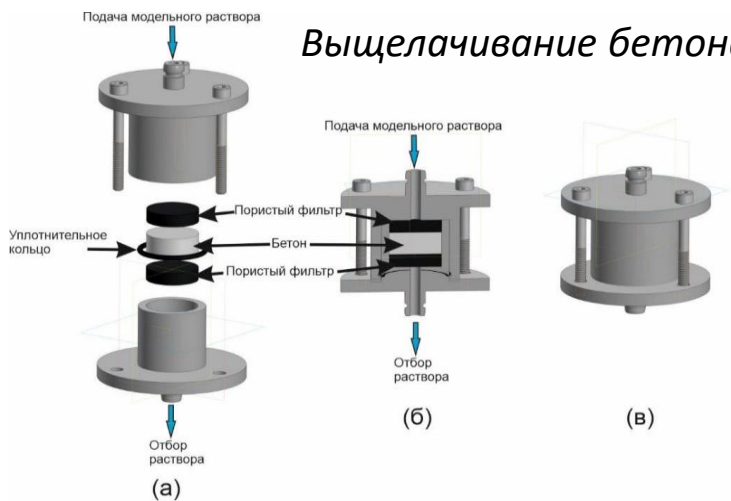
6 и 18 мес., 20±3°C



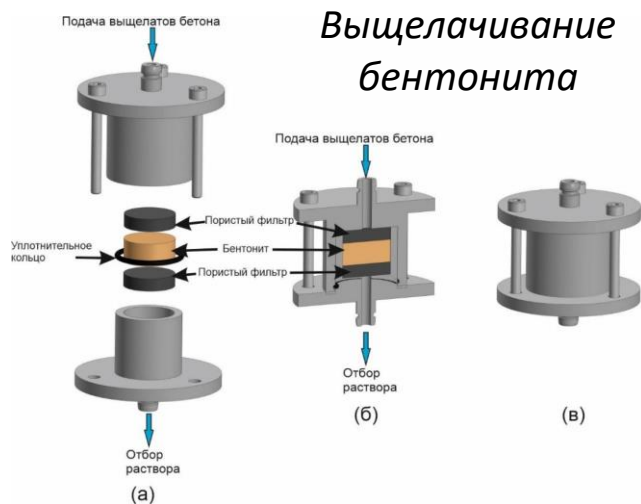
Этап 4 (02.2023-11.2023)
 Изучение состава и свойств бентонита и бетона
 Этапы 3-4 (11.2022-11.2023)
 Анализ изменения состава водной фазы

3 – эволюция материалов ИББ в прогнозируемых условиях

Выщелачивание бетона

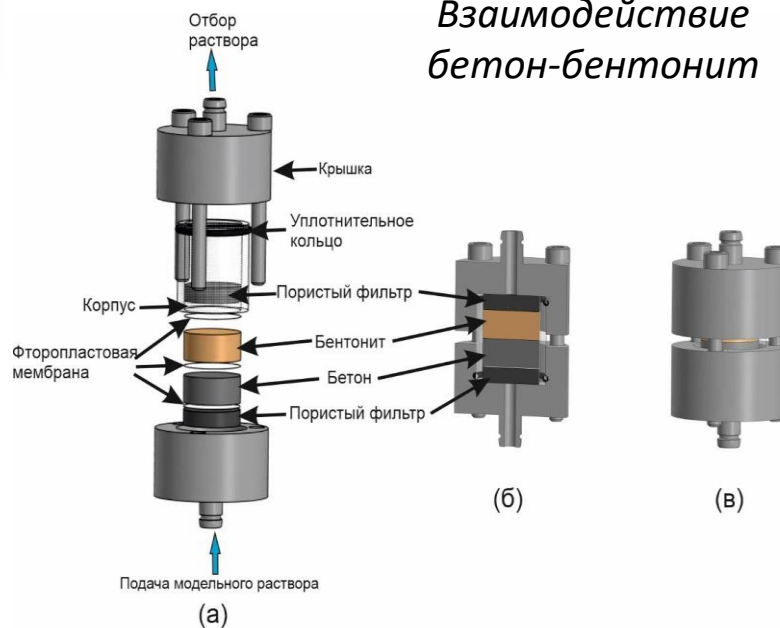


Выщелачивание бентонита

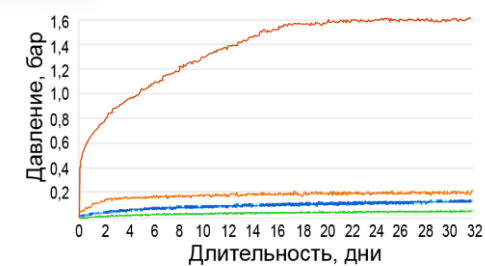


Фильтрационные ячейки

Взаимодействие бетон-бентонит



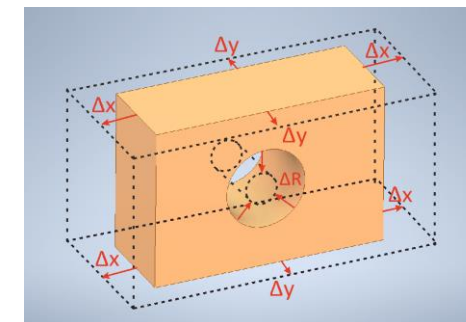
Экспериментальные ячейки



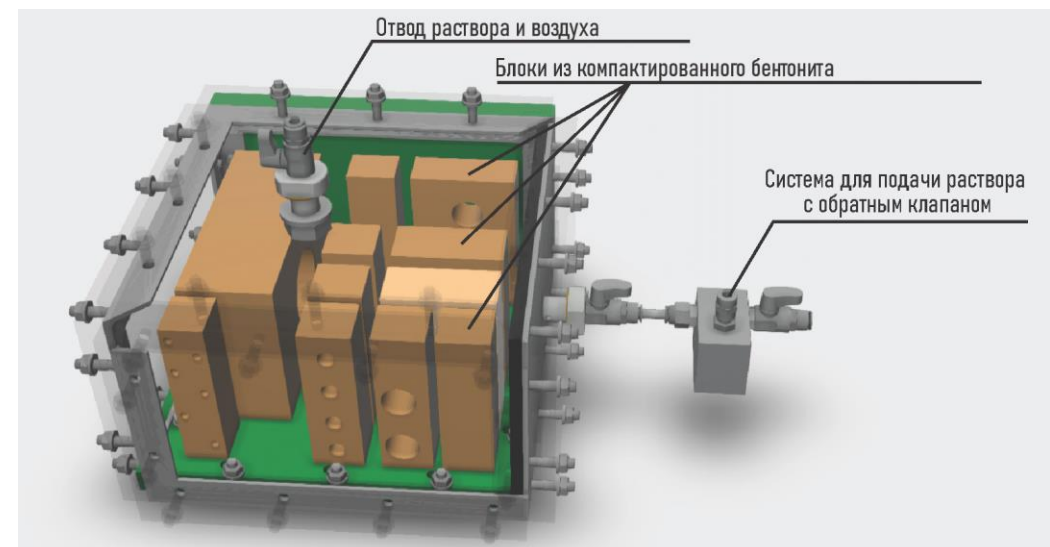
4 – Макетные испытания свойств глинистых материалов ИББ



- (1) Функциональные свойства
- (2) Эволюционные свойства
- (3) Миграционные свойства
- (4) Геотехнические решения

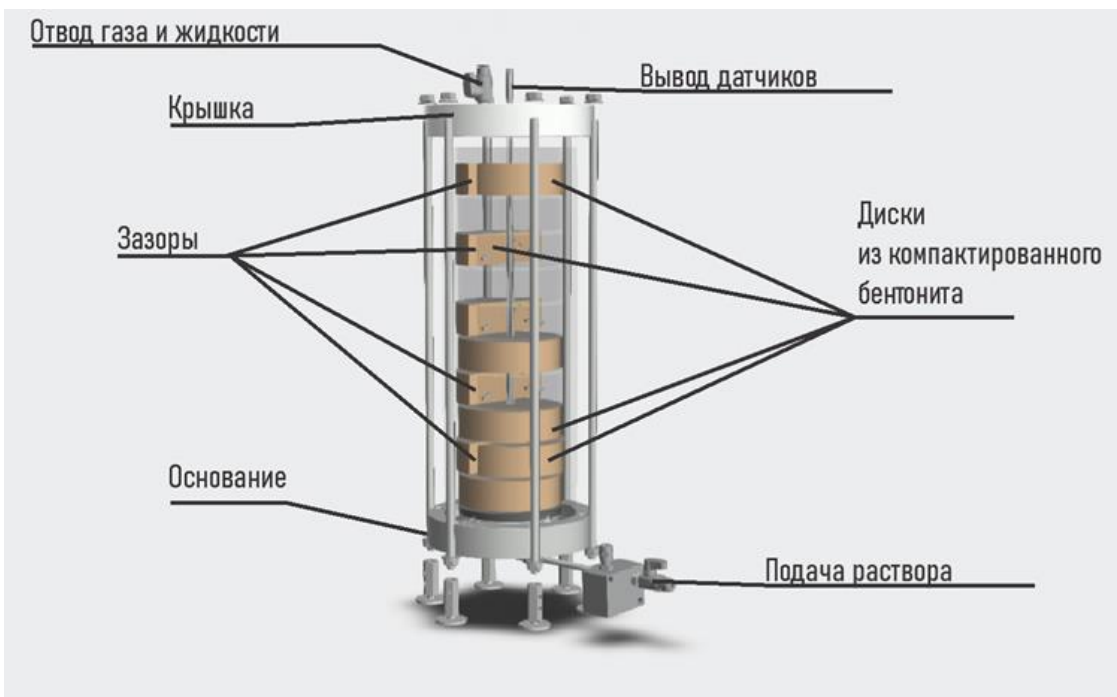


«Самозалечивание»



4 – Макетные испытания свойств глинистых материалов ИББ

«Водонасыщение»



«Трещина»



4 – Макетные испытания свойств глинистых материалов ИББ

«Нагрев – буфер/контейнер»

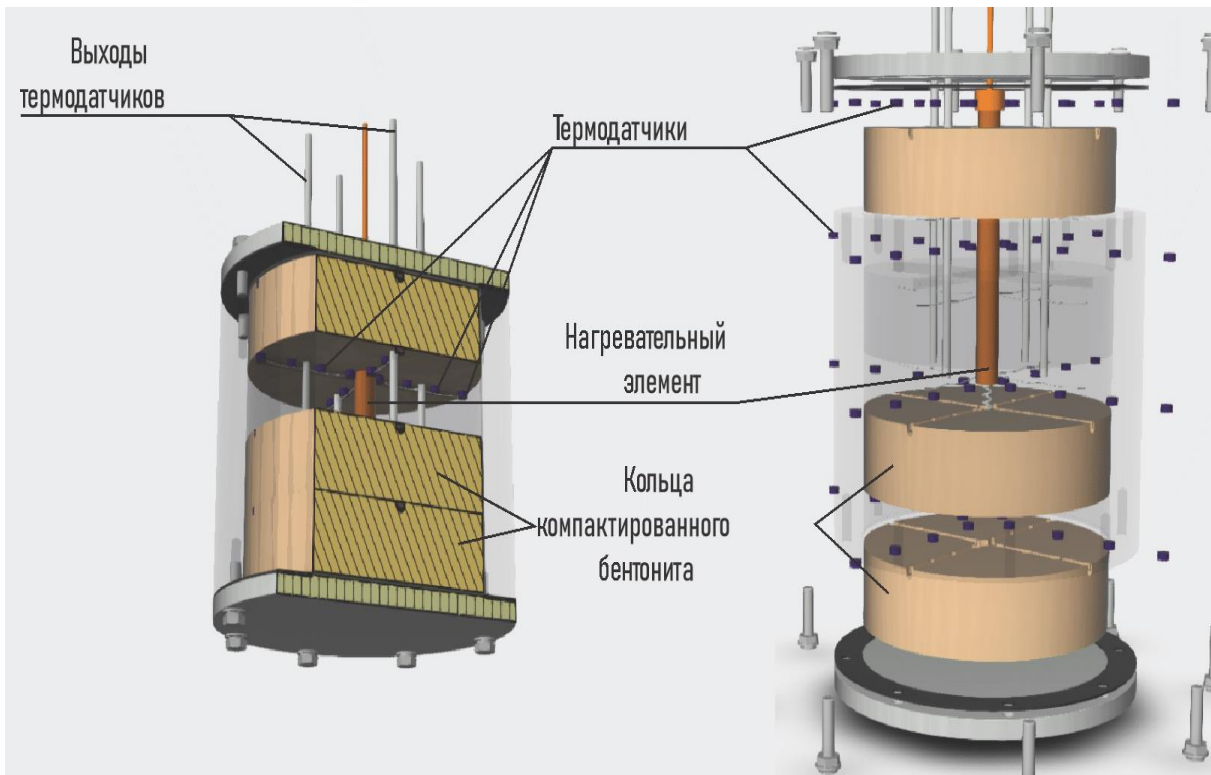
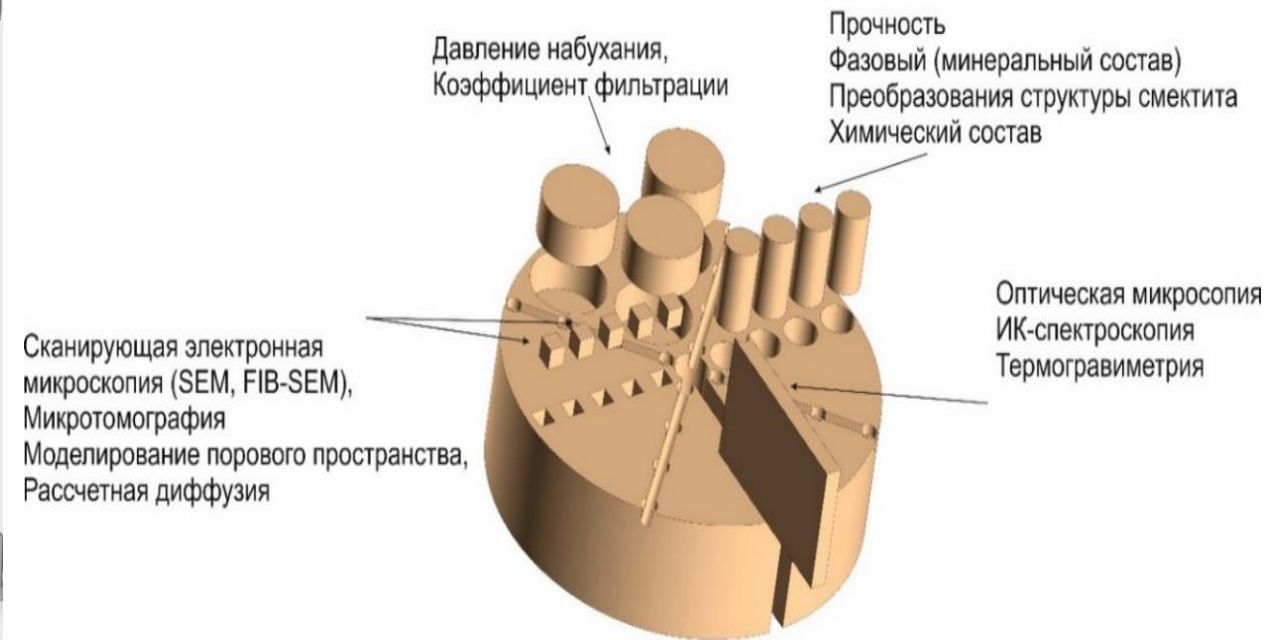
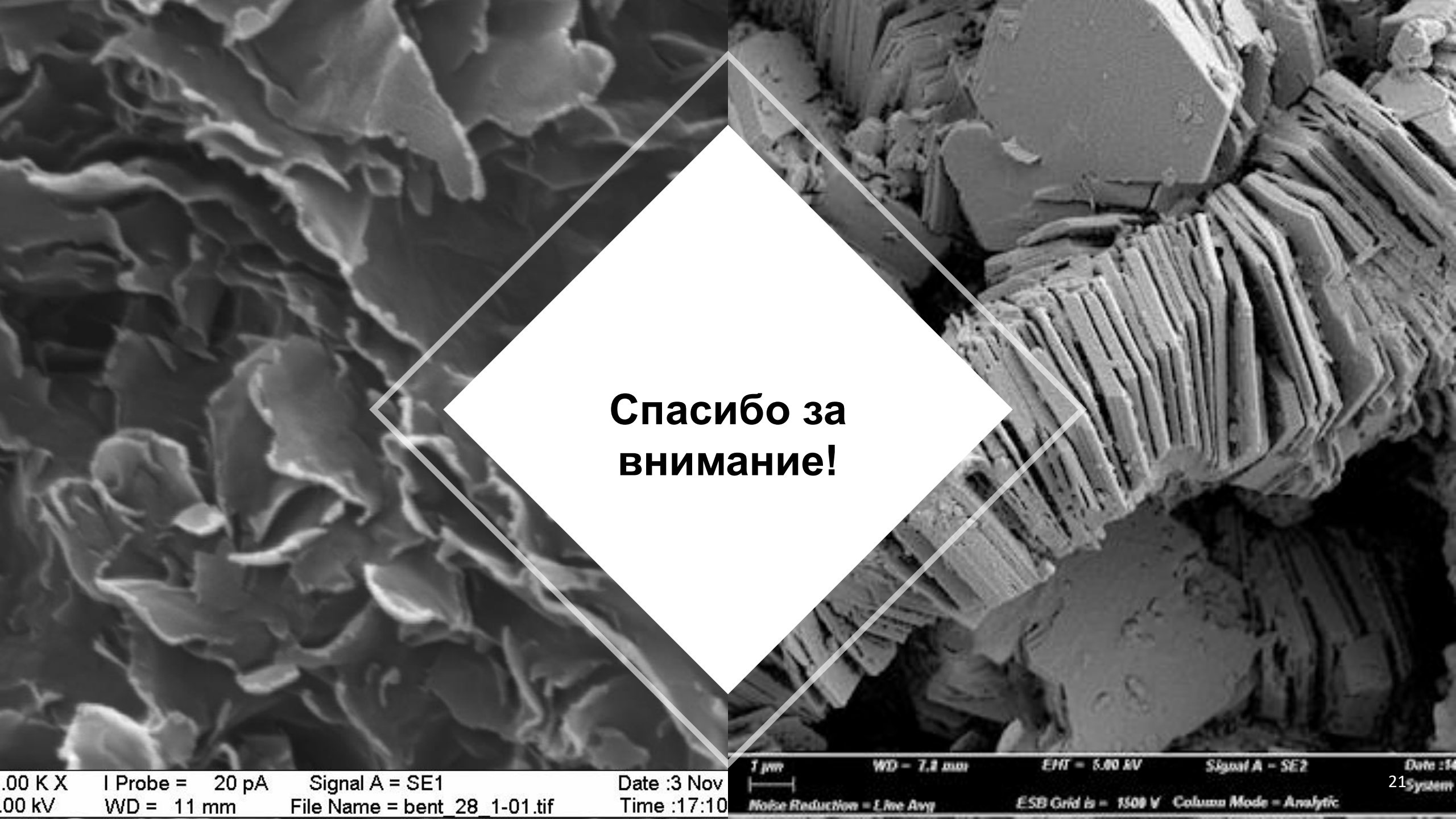


Схема отбора проб после завершения эксперимента





**Спасибо за
внимание!**

.00 K X | Probe = 20 pA | Signal A = SE1 | Date :3 Nov
00 kV | WD = 11 mm | File Name = bent 28 1-01.tif | Time :17:10

1 μm

WD = 7.1 mm

ENT = 5.00 kV

Signal A = SE2

Date :14

Noise Reduction = Line Avg

ESB Grid b = 1500 V | Column Mode = Analytic

21 System

2011 – Договор с ОАО «СХК» – поиск индикаторов изменений геологической среды при воздействии радиоактивных отходов

2014 – Работы для ВНИПИПТА по вопросам обоснования применения системы инженерных барьеров безопасности при глубинном захоронении радиоактивных отходов в Красноярском крае

2014-2016 - РФФИ, 14-05-00297-А: "Преобразования глинистых минералов в результате длительного воздействия высокореакционных растворов, сопровождающих жидкие радиоактивные отходы", 2014-2016 гг

2016-2020 – Проект РФФИ «Стабильность буферных свойств бентонитовых барьерных систем при их эксплуатации для изоляции захоронений радиоактивных отходов»

2018 – участие в разработке «Комплексной программы исследований в обоснование долговременной безопасности захоронения РАО и оптимизация эксплуатационных параметров (Стратегический мастер-план исследований в обоснование безопасности сооружения, эксплуатации и закрытия ПГЗРО в Нижнеканском массиве(Красноярский край))»

2020-2022 - Проект РФФИ_Аспиранты: «Граничные преобразования материалов инженерных барьеров безопасности при изоляции радиоактивных отходов в кристаллических массивах»

2018-2020 - Проект РФФИ-мк: "Сорбционная способность монтмориллонита разного состава по отношению к радионуклидам и их неактивным аналогам как ключ к созданию инновационных композитных материалов с заданными свойствами", 2018-2021

2019 – Договор с ИБРАЭ РАН (работы по вопросам использования глинистых материалов инженерных барьеров безопасности в ПГЗРО на участке Енисейский)

2022 - Договор с МГУ им. М.В. Ломоносова (головной Заказчик – ФГУП «Радон») - «Обоснование необходимых к исследованию барьерных глинистых материалов и методики их характеристики»

2022-2024 - Проект РФФИ «Эволюция состава, строения и свойств глинистых материалов как компонентов инженерных барьеров безопасности при изоляции радиоактивных отходов»

2022-2023 - Договор с ИБРАЭ РАН (головной Заказчик - ГК «Росатом») на тему «Экспериментальные исследования особенностей поведения систем инженерных барьеров безопасности (ИББ) в модельных условиях геологического захоронения в кристаллическом массиве на участке «Енисейский»