



Гидрогеологические исследования на объектах использования атомной энергии (к 25-летию образования СПбО ИГЭ РАН)

В.Г. Румынин

Выездное заседание Бюро ОНЗ РАН в Санкт-Петербурге

Санкт-Петербург
26 мая 2023



СОДЕРЖАНИЕ ДОКЛАДА

1. Введение: Историческая справка

2. Исследования на объектах использования атомной энергии

РАО

- Радиоактивное загрязнение подземных вод
- Захоронение РАО в геологических формациях

АЭС

- Воздействие на природные воды при радиационных авариях
- Тепловое и химическое загрязнения поверхностных бассейнов и водотоков

3. Выводы

4. Организация деятельности Отделения:

связь с Университетом, лицензирование, информационные и IT проекты

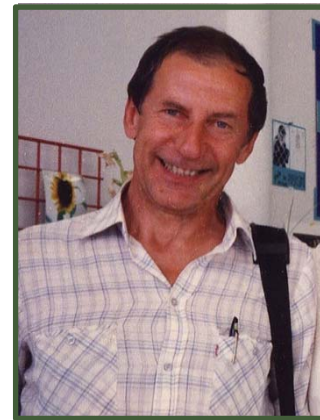
ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ ОРГАНИЗАЦИИ



Н.М. Проскуряков
член.-корр., ректор ЛГИ



В.И. Осипов
акад., директор ИГЭ РАН



В.А. Мироненко
член.-корр., директор СПбО ИГЭ РАН



Л.А. Вербицкая,
ректор СПбГУ

1995 г – создание в Ленинградском горном институте Комплексной лаборатории гидрогеологии и природосберегающих горных технологий РАН и Госкомвуза РФ

1996 г – создание ИГЭ РАН и преобразование Лаборатории в СПб Отделение ИГЭ РАН

1996–1997 г.г. – интеграция СПб Отделения ИГЭ РАН в структуру СПбГУ (Межфакультетский центр Гидрогеоэкологии)

СТРУКТУРА, КАДРОВЫЙ СОСТАВ И НАУЧНЫЕ ПРИОРИТЕТЫ



Структура организации

- Лаборатория экспериментальной гидрогеологии и гидрогеомеханики (зав. лаб. Никуленков А.М.)
- Лаборатория гидрогеологических прогнозов и моделирования (зав. лаб. Синдаловский Л.Н.)
- АУП – 3 чел (директор, гл. бухгалтер, офис-менеджер)

Кадровый состав



Приоритеты

Разработка полевых и модельных технологий изучения и прогноза воздействия промышленных объектов на ресурсы и качество подземных вод

ПРОГРАММЫ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАН

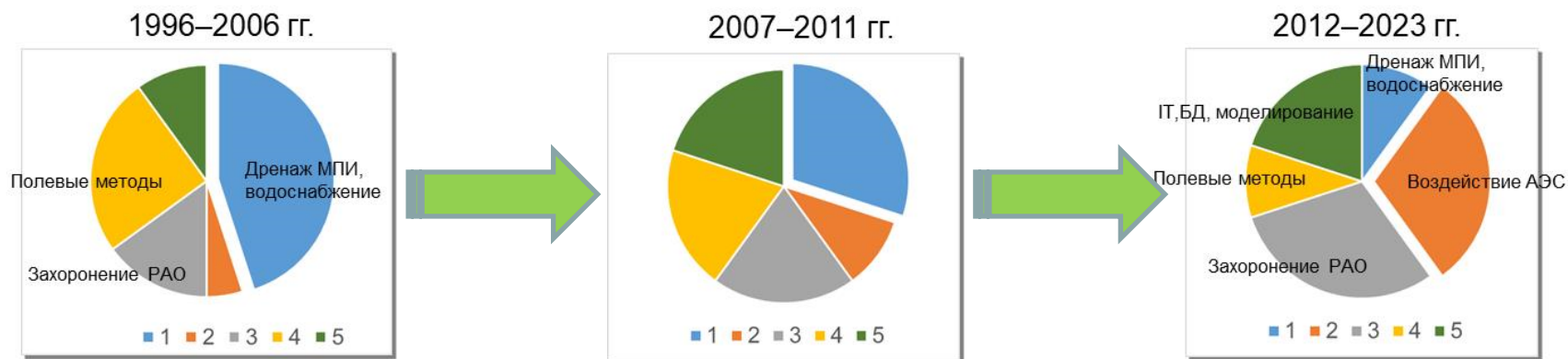


- Теоретические основы оценки ресурсов и качества подземных вод
- Физико-математические и физико-химические модели фильтрации и миграции вещества в водоносных горизонтах
- Разработка теории и методов экспериментальной/полевой гидрогеологии
- Основы долговременной безопасности объектов использования атомной энергии и их воздействия на природные воды



Прикладные исследования (хоздоговорные работы)

Динамика приоритетов 1996–2023 гг.



ЧТО ОТНОСИТСЯ К ОБЪЕКТАМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ



В соответствии с ФЗ-170 «Об использовании атомной энергии»:

- Ядерные установки (АЭС)
- Пункты хранения и переработки ядерных материалов и радиоактивных веществ
- Пункты изоляции радиоактивных отходов в геологических формациях

Цель и задачи гидрогеологических исследований

Цель: оценка и прогноз воздействия ОИАЭ на природные воды

Задачи:

- Прогноз миграции/накопления радионуклидов в ПВ, почвах, водных объектах
- Прогноз изменения гидрогеологических условий при строительстве/эксплуатации ОИАЭ
- Реабилитация радиоактивно загрязненных территорий
- Прогноз воздействия на водные объекты и оценка ущерба водным биоресурсам

ИСТОЧНИКИ РАДИОНУКЛИДОВ – РАО И ВЫБРОСЫ НА АЭС



Предприятия ядерно-технологического цикла



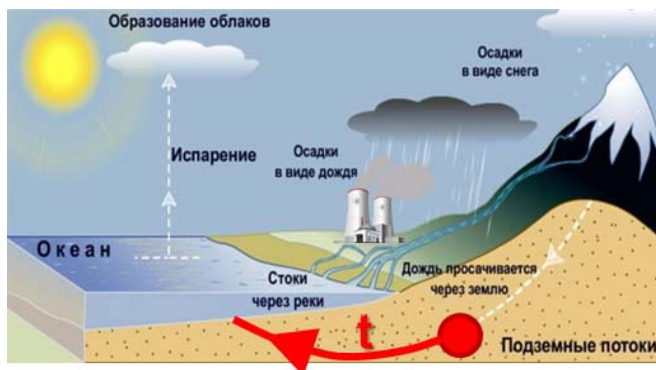
Атомные станции и энергетические установки



Примечание: ОИАЭ - источники РАО: накоплено (ГК «Росатом») около 4 млрд. Ки

ОСНОВНЫЕ НОСИТЕЛИ РАДИОНУКЛИДОВ В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ

Подземные воды и поверхностный сток



СИСТЕМЫ ОБРАЩЕНИЯ С РАО В ИСТОРИЧЕСКОМ КОНТЕКСТЕ



Объекты накопления/хранения РАО (1951 г. – н.в.)

Поверхностные водные объекты



Челябинск-65, Томск-7



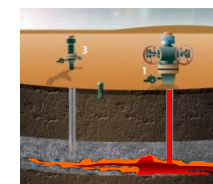
Поверхностные хранилища



Система «Радонов»



Геологические формации

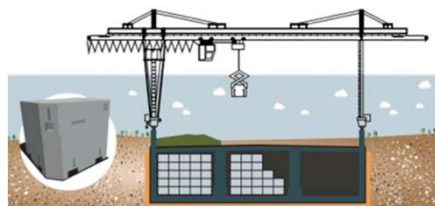


Томск-7, Красноярск-26, Димитровград

Объекты окончательной изоляции РАО (190-ФЗ «Об обращении с РАО...», 2011 г.)

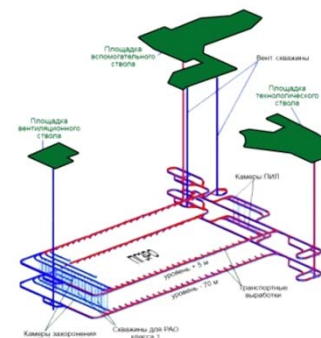
ПЗРО – поверхность земли или ниже поверхности до глубины 100 м

НАО, САО



ПГЗРО в гнейсах на глубине 450-450 м (Красноярский край)

САО, ВАО



Такая история делает актуальными две гидрогеологические проблемы



Оценка и прогноз радиоактивного загрязнения подземных вод

Примеры:

Участок «оз. Карачай» (Челябинская обл.)

ЛСК «Радон» (Ленинградская обл.)

Полигон захоронения жидких РАО СХК

Обоснование долговременной безопасности захоронения (изоляции) РАО

Примеры:

ПЗРО в глинах (Сосновый Бор, Ленинградская обл.)

ПГЗРО в гнейсах Красноярского края, участок «Енисейский»



ИССЛЕДОВАНИЕ МИГРАЦИИ РАДИОАКТИВНЫХ РАССОЛОВ НА УЧАСТКЕ «ОЗ. КАРАЧАЙ» (ПО «МАЯК»)

Совместно с ФГУП «Гидроспецгеология», ИГЕМ РАН, ИФХЭ РАН, ПО «Маяк»



Продукты деления , Бк/л

- **Sr-90:** до $1.5 \cdot 10^8$
- **Cs-137:** до $3.3 \cdot 10^8$
- **Tс-99:** до $1 \cdot 10^4$
- **Со-60:** до $3 \cdot 10^4$
- **Ru-106:** до $7.4 \cdot 10^3$

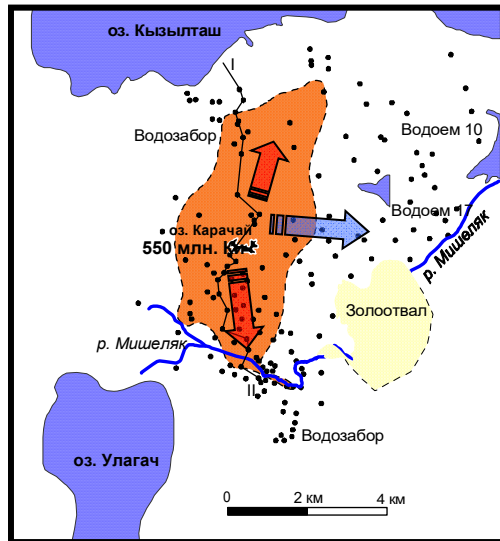
U и актиниды, Бк/л

- **U-235+238:** до $2.3 \cdot 10^3$
- **Pu-239, 240:** до 2.1
- **Am-241:** до 6.4
- **Cm-244:** до 14
- **Np-237:** до 18.2

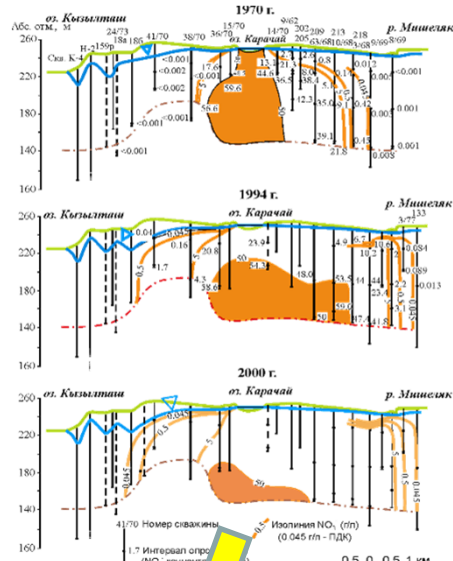
ОРЕОЛ СОЛЕВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ



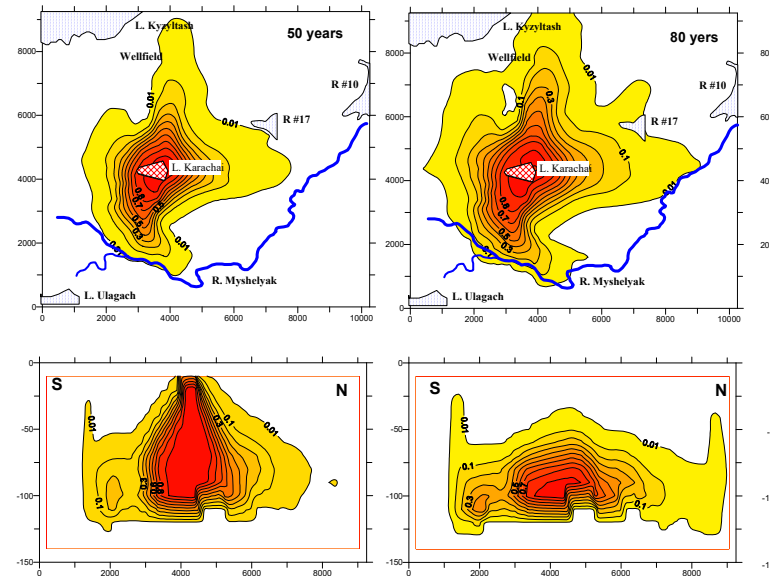
в плане



в разрезе



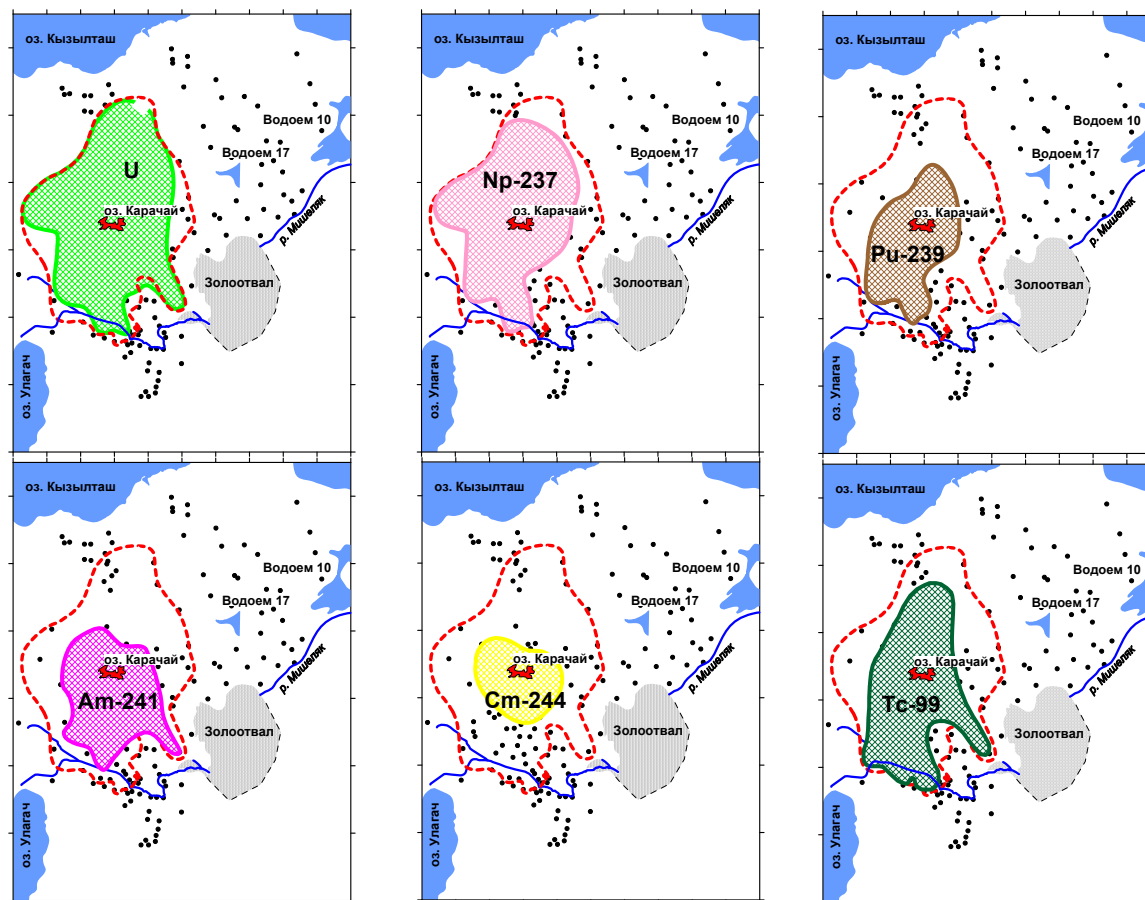
Прогноз



Гравитационное заполнение депрессий
рассолом в основании толщи



Фактические ореолы урана, актинидов и технеция



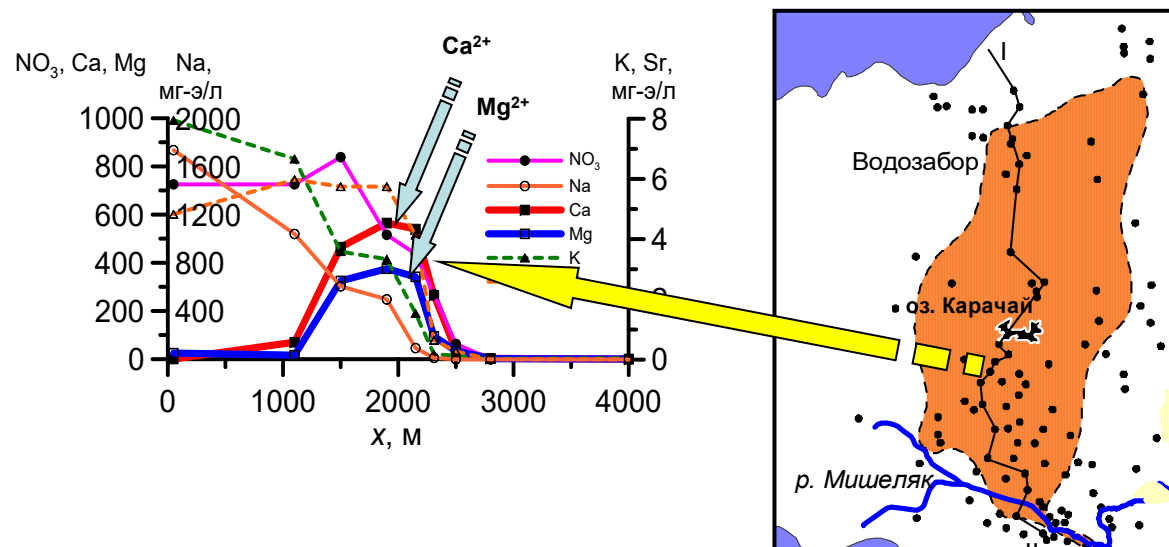
Контуры ореолов в границах изолиний УВ НРБ-99: 2003 – 2006 гг.



Факторы, определяющие высокую мобильность радионуклидов:

- ❖ подвижные ионообменные барьеры
- ❖ комплексообразование
- ❖ адсорбция на коллоидах

Ионообменная «волна» (по данным наблюдений в скважинах)



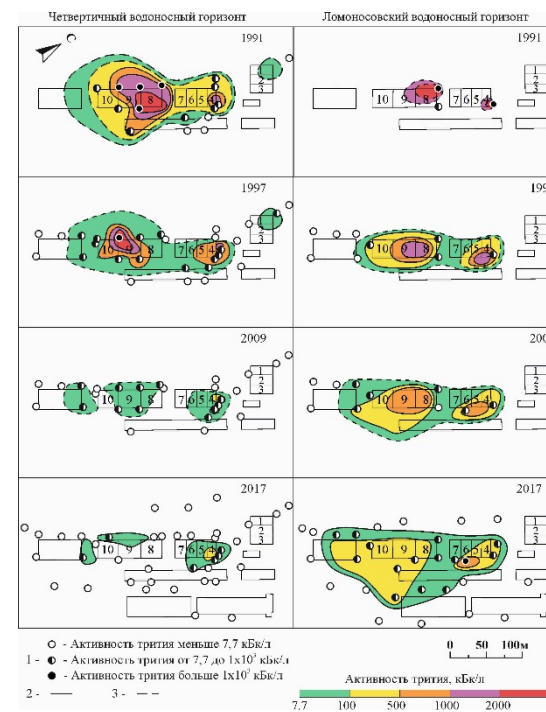
ЛСК «РАДОН»: 40-ЛЕТНИЙ ПЕРИОД РАДИОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ



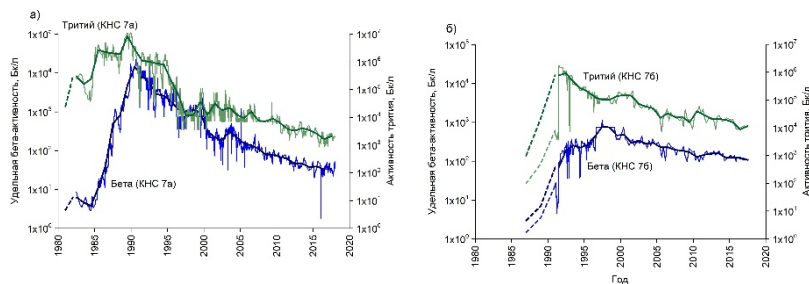
Общий вид



Динамика ореола загрязнения в двух горизонтах



Мониторинг радионуклидов в скважинах



Сопоставление полевых и лаб. определений Кd

Метод	Кd, мл/г	
	Sr-90	Cs-137
<i>In situ</i>	6-67	3-470
Лаборатория	44-220	13-3300

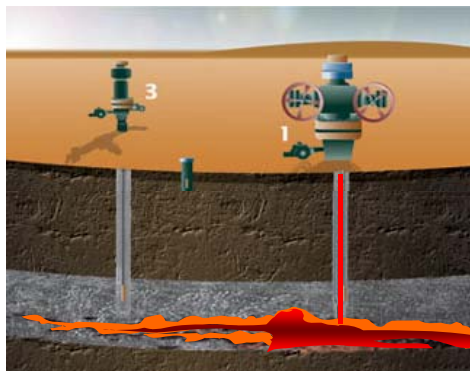
Полигоны глубинного захоронения ЖРО



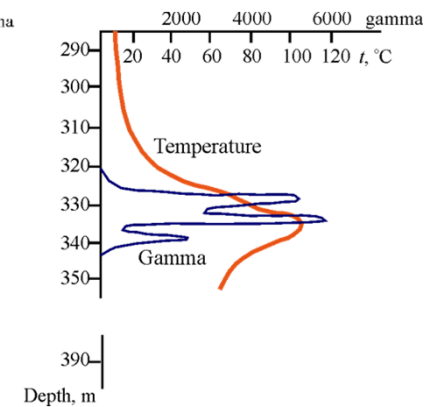
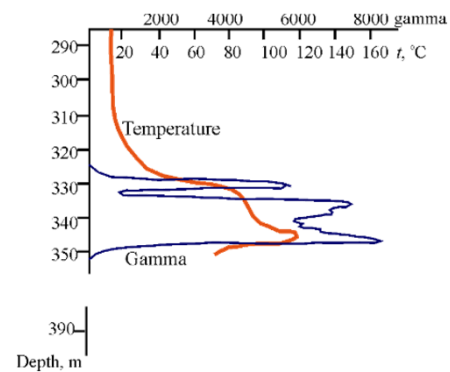
Характеристика коллектора и объемы закачки

Полигон	Ввод в эксплуатацию	Глубина, м	Коллектор	М ПВ, г/л	Объем, млн. м ³	Активность, млн. Ки
Томск-7	1963 г.	350–400	Гл. пески	< 1	45	1100
Красноярск-26	1962 г.	400–480	Гл. пески	< 1	6	450
НИИАР	1966 г.	1100-1500	Песч./карб. породы	200–260	3	100 (?)

Концепция



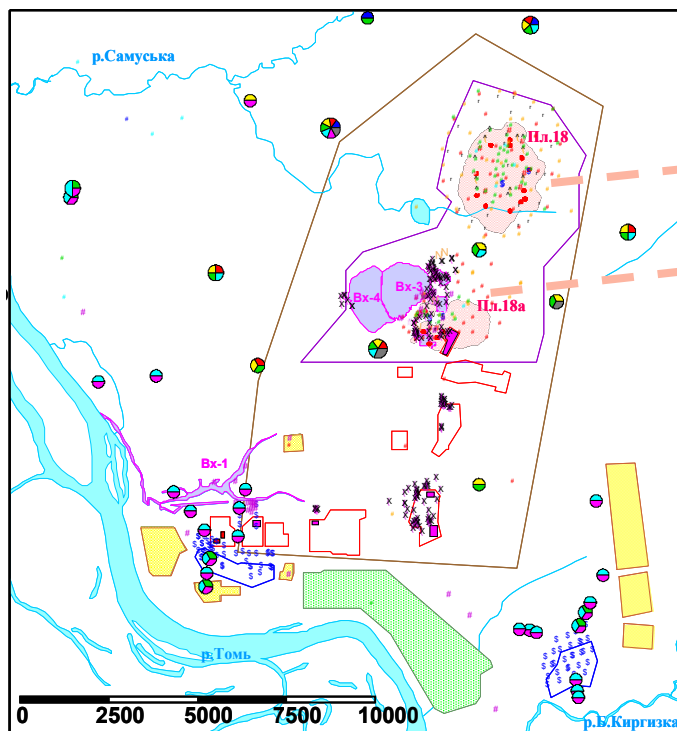
Т-гамма каротаж скважин: тепловыделение



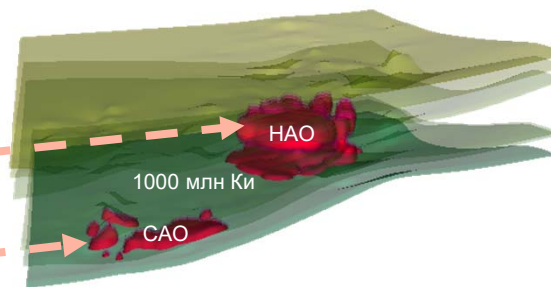
Полигон закачки ЖРО Сибирского химического комбината (СХК)



Расположение объектов загрязнения ПВ



Ореолы загрязнения



Направления исследований
(совместно с ИФХЭ РАН и СХК):

- ❖ Адсорбционные эксперименты
- ❖ Миграция радионуклидов на коллоидах
- ❖ Водообмен по изотопным данным

Сорбционно-десорбционные эксперименты (совместно с ИФХЭ РАН)



Экспериментальные серии

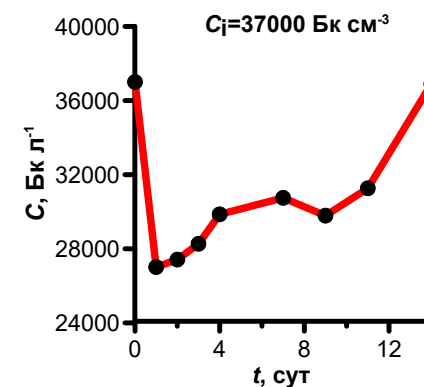
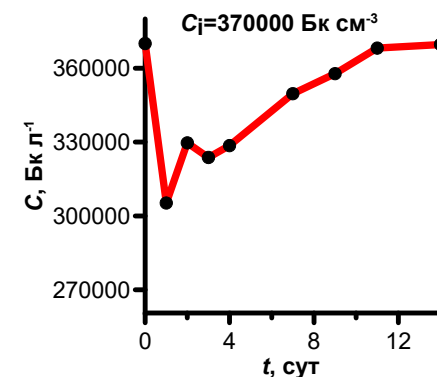
❖ Нормальные условия ($T = 20^\circ \text{C}$ и $P = P_{\text{atm}}$)

Радио- нуклид	Растворы			
	Сорбция		Десорбция	
	П. вода	NaNO ₃	NaNO ₃	П. вода
Sr-90	Sr-GW	Sr-Na	Sr-Na-Na	Sr-Na-GW Sr-GW-GW
Cs-137	—	Cs-Na	Cs-Na-Na	Cs-Na-GW

❖ Эксперименты при высоких температурах и давлении

Радионуклид	Десорбция	$T = 70^\circ \text{C}, P = P_{\text{atm}}$	$T = 70^\circ \text{C}, P = 3 \text{ MPa}$
Sr-90	GW	Sr-Na-GW-70	Sr-Na-GW-70-3
Cs-137	NaNO ₃	Cs-Na-Na-70	Cs-Na-Na-70-3
	GW	Cs-Na-GW-70	Cs-Na-GW-70-3

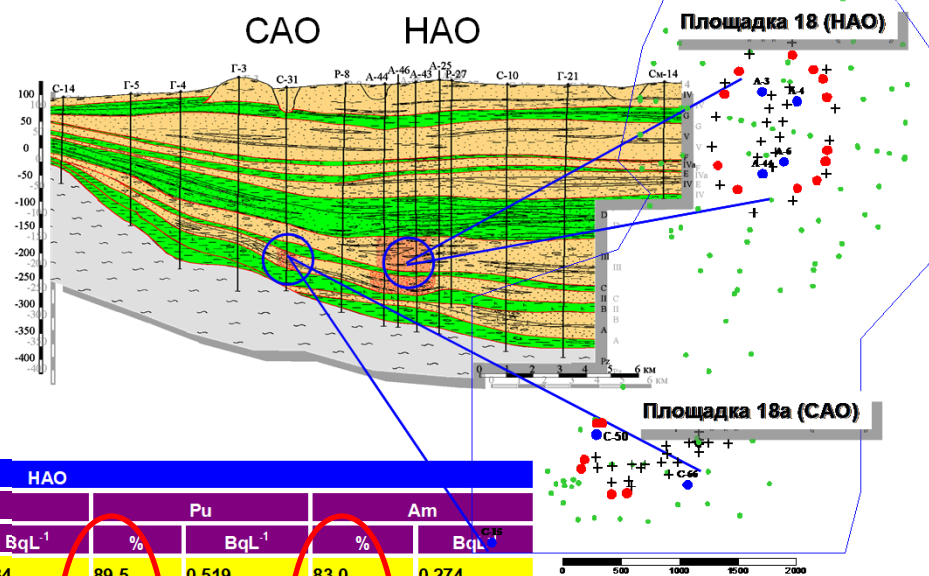
Кинетика: anomalous behavior of Sr-90 and Cs-137 during adsorption ($T=70^\circ \text{C}$, $P=3 \text{ MPa}$)



ТРАНСПОРТ РАДИОНУКЛИДОВ НА КОЛЛОИДАХ

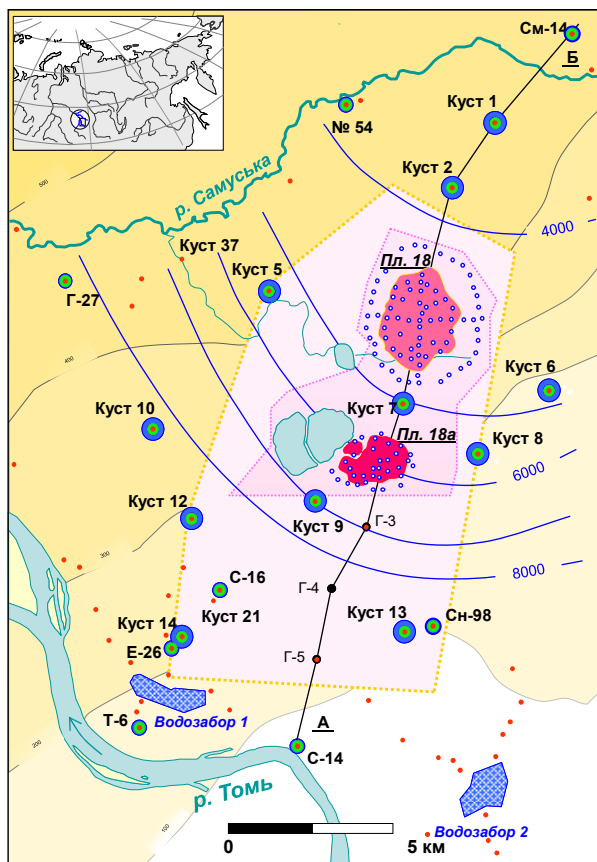


- ❖ Опыты с синтезированными растворами $^{239}\text{Pu} + \text{Colloids}$
- ❖ Опыты с пробами воды, отобранными из скважин на полигоне захоронения РАО СХК



Скважина	НАО							
	U		Np		Pu		Am	
	%	BqL ⁻¹	%	BqL ⁻¹	%	BqL ⁻¹	%	BqL ⁻¹
A-46	99.9	0.98	96.4	0.034	89.5	0.519	83.0	0.274
A-44	89.1	0.012	77.5	0.078	69.6	0.181	77.6	0.0038
A-3	87.3	0.0043	77.5	0.039	55.3	0.021	76.8	0.0169
A-6	89.3	0.0074	86.3	0.087	89.6	0.0206	89.7	0.085

ОПРЕДЕЛЕНИЕ «ВОЗРАСТА» ПОДЗЕМНЫХ ВОД U/HE-4 МЕТОДОМ



Сопоставление результатов расчетов средних скоростей миграции в водоносных горизонтах, м/год

Горизонт	⁴ He-U метод	Рыбалченко и др., 1994	Shestakov et al., 2002
V	20.0	—	3
IV	8.0 (10)	—	10
III	2	3–5	1
I+II	2.4 (3.2)		



ВЫВОДЫ

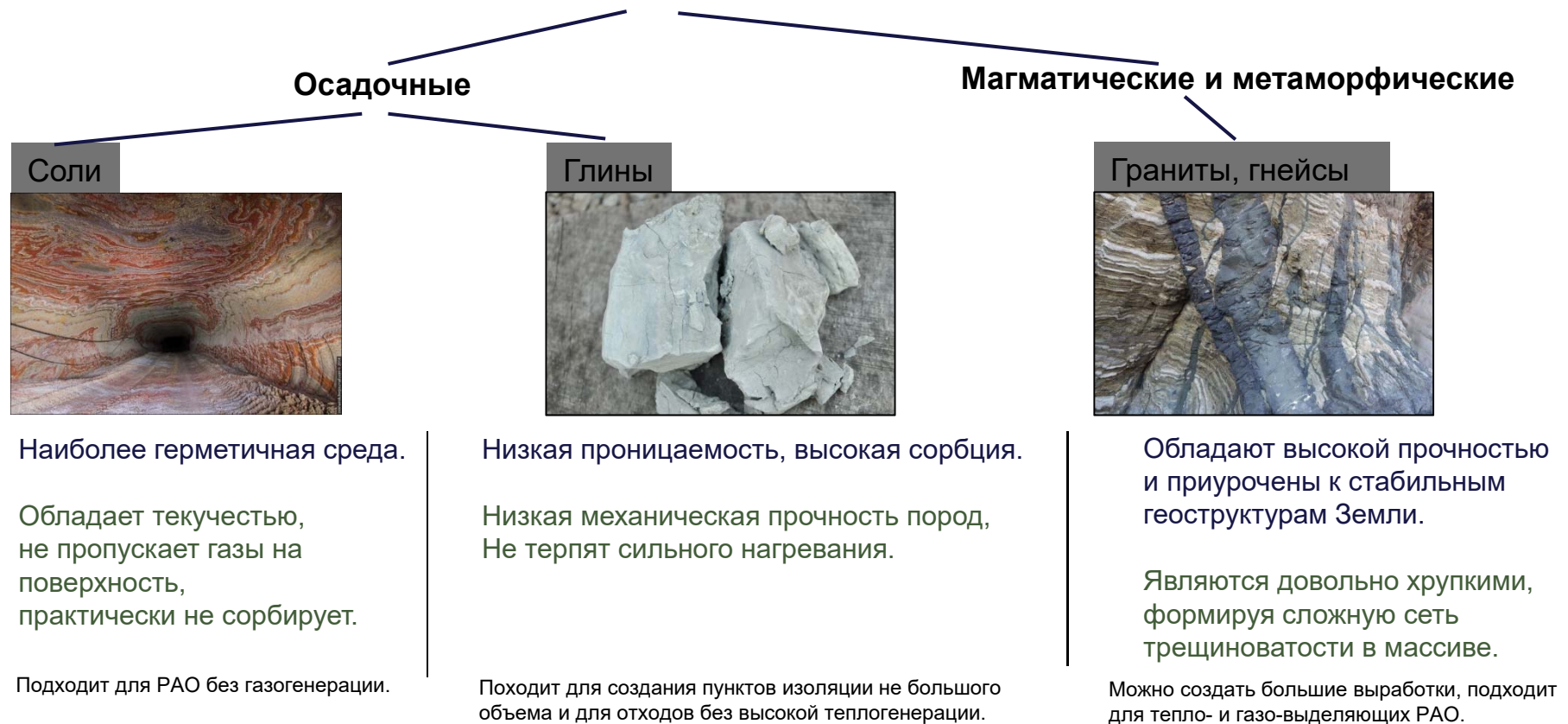
Области распространения ореолов загрязнения подземных вод, сформировавшимися за более, чем полувековой период, являются своего рода “природными лабораториями” для изучения гидрогеологических процессов.

Полевые исследования на таких площадках, поддержанные лабораторными экспериментами, могут определить прогресс в развитии подземной гидродинамики на ближайшие десятилетия, заложив основу для возобновления международного сотрудничества.

ОБОСНОВАНИЕ ДОЛГОВРЕМЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЗАХОРОНЕНИЯ РАО



ВИДЫ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ФОРМАЦИЙ ДЛЯ ОКОНЧАТЕЛЬНОЙ ИЗОЛЯЦИИ РАО





РФ и зарубежные объекты-аналоги

Геологические формации	Россия	Западная Европа (Бельгия, Франция)	Скандинавия (Швеция, Финляндия)
ГЛИНЫ	Венд, кембрий Сосновый Бор	BC, Cox Mol/Dessel, Meuse	
КРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ	Гнейсы, архей (Красноярский край)		Граниты, архей Forsmark, Aspo

Возможности решения прогностических задач лимитируются отсутствием периода наблюдения на объекте

Глинистые формации, перспективные для создания хранилищ РАО



#	Страна	Осадочная порода
1	Бельгия	Boom clay Ypresian clays
2	Великобритания	Oxford clay
3	Венгрия	Boda claystone formation (BCF)
4	Германия	Claystone of middle jurassic age Claystones and siltstones of lower cretaceous age
5	Испания	Spanish reference
6	Канада	Georgian bay formation Kenogami river formation Queenstown shale
7	Россия	Вендские глины Кембрийские глины

#	Страна	Осадочная порода
8	США	Pierre shale
9	Франция	Callovo-oxfordian Cretaceous Domerian and toarcian marls and argillites from the causes basin
10	Швейцария	Opalinus clay Lower freshwater molasse Untere sussemolasse (USM)
11	Япония	Koetoi and wakkanai formations Mizunami group (toki lignite formation)

Подземные лаборатории
SCK-CEN (Belgium);
Andra (France);
Nagra (Switzerland)

Участки работ при изучении региональных закономерностей распространения глинистых толщ в Санкт-Петербургском регионе



Обоснование пункта окончательной изоляции радиоактивных отходов в вендских глинах Северо-Запада (начало проекта 2007 г.)

Изучаемые свойства

- Свойства, определяющие геотехнические условия строительства и эксплуатации хранилища (прочностные и деформационные свойства пород)
- Свойства, контролирующие безопасность хранилища с точки зрения радиационного воздействия на подземные воды и сопредельные среды



Бурение скважин, их каротаж и отбор образцов



Лабораторные эксперименты

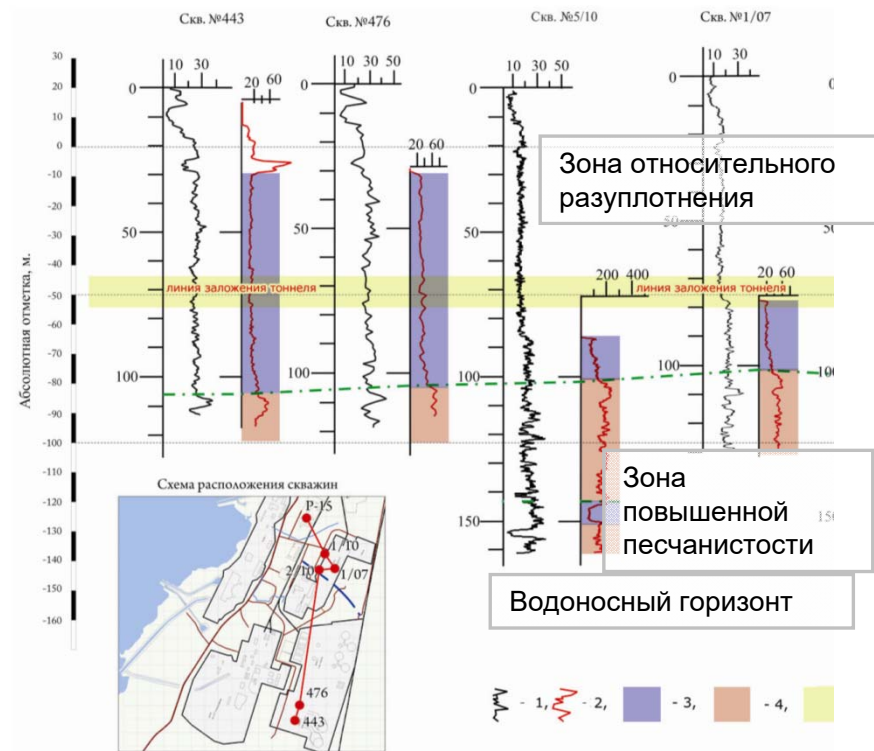


Математическое моделирование

Бурение глубоких скважин и отбор проб



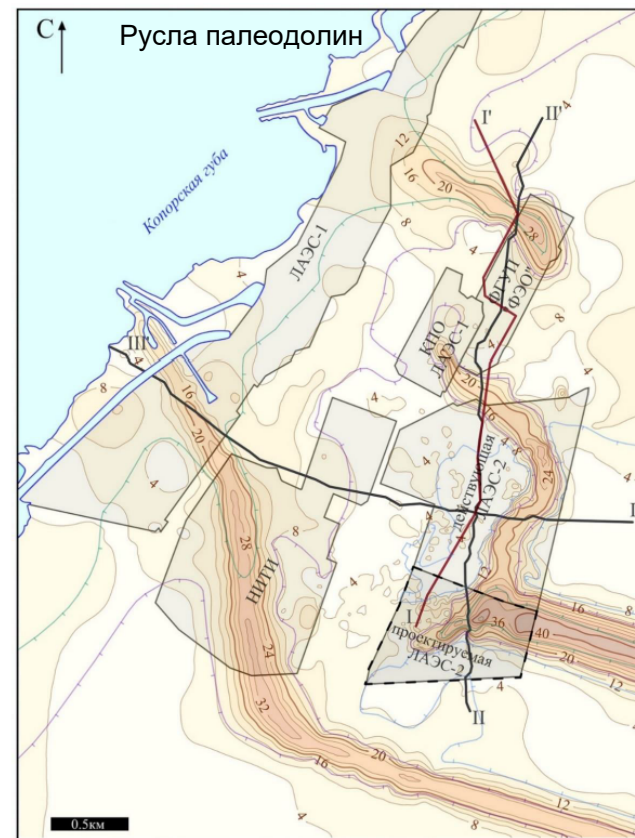
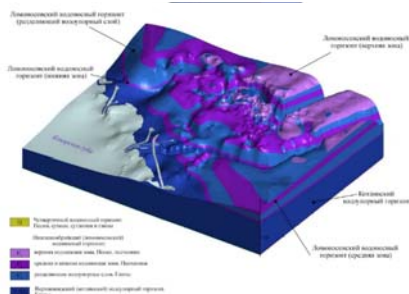
Выделение зон неоднородности в разрезе



Картирование палеодолин (геофизика + бурение)



Профиль Г1. Метод ВЭЗ

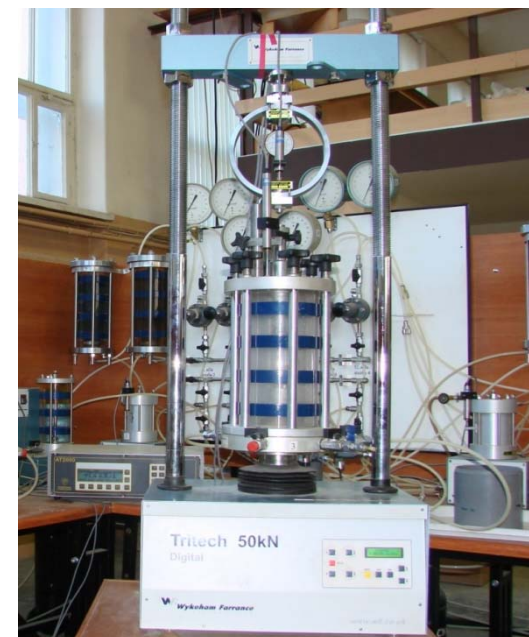
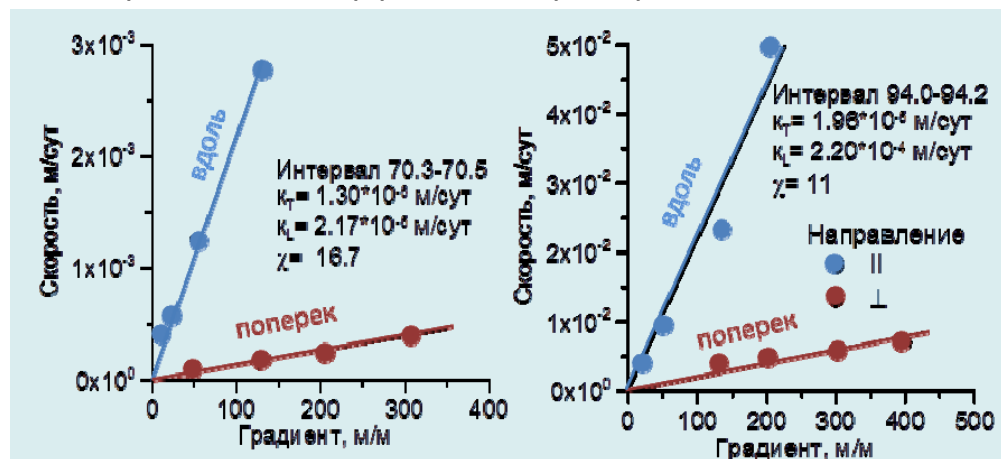


Лабораторные эксперименты на фильтрационную и диффузионную проницаемость



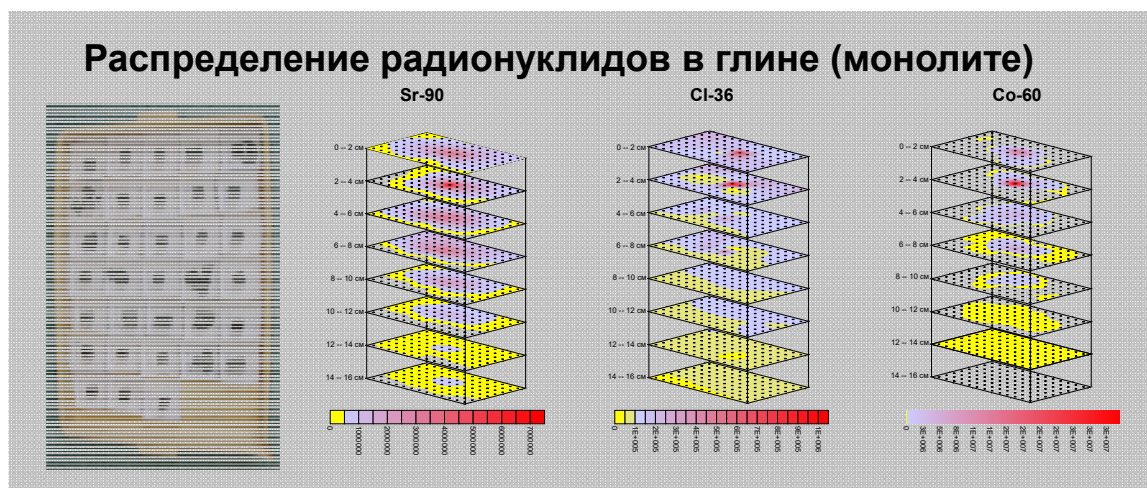
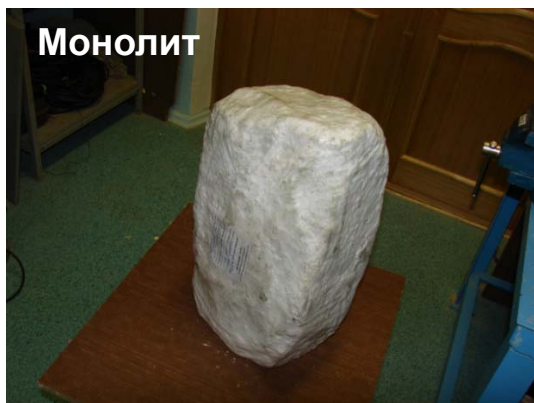
Вертикальный коэффициент фильтрации лежит в диапазоне от 5×10^{-7} до 2×10^{-5} м/сут, а горизонтальный от 4×10^{-6} до 2×10^{-4} м/сут. Выявлена сильная анизотропия параметра (до 16), которая объясняется тонкой слоистостью глинистых отложений.

Определение коэффициентов фильтрации котлинских глин



Установка трехосного сжатия Wykeham Ferrance

3D диффузионный эксперимент (продолжительность примерно 2 года)



ВЫВОДЫ



- Установлены факторы, влияющие на изменение свойств глин в разрезе
- Проявление анизотропии характерно для всех изученных физико-механических и физико-химических свойств глин

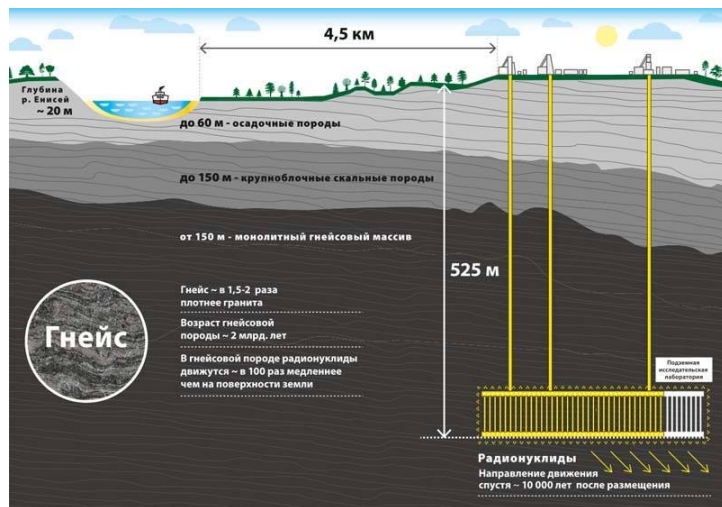
Показатель анизотропии	Свойства			
	Деформационные	Прочностные	Диффузионные	Проницаемость
E_h/E_v	1.4			
C_h/C_v		1.5–2		
D_h/D_v			2–6	
k_h/k_v				5–250

- Сравнительный анализ глин Северо-Запада России с глинистыми формациями европейских стран – кандидатами для строительства ПЗРО (Boom, Callovo-Oxfordian, Opalinus, and Kothlin): по барьерным свойствам сопоставимы.

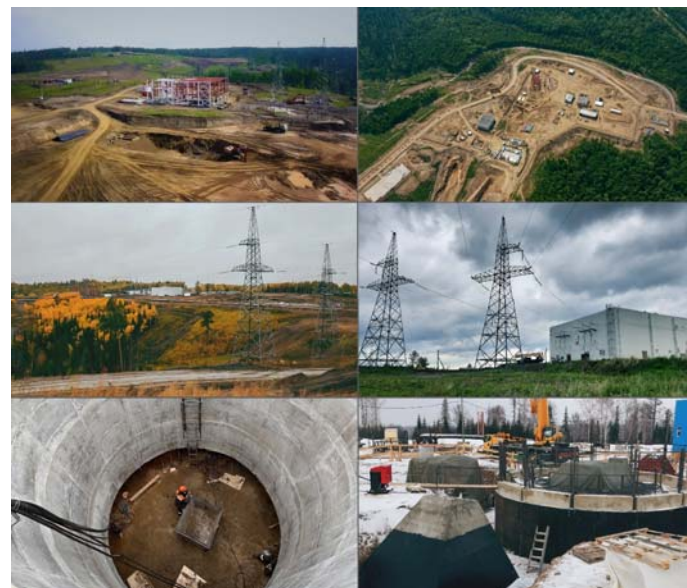
Глубинный пункт захоронения радиоактивных отходов (ПГЗРО) в трещиноватых гнейсах Красноярского края

Планы по созданию ПГЗРО

до 2030 г. - Создание подземной исследовательской лаборатории,
после 2030 г. – Проходка выработок, закладка радиоактивных отходов



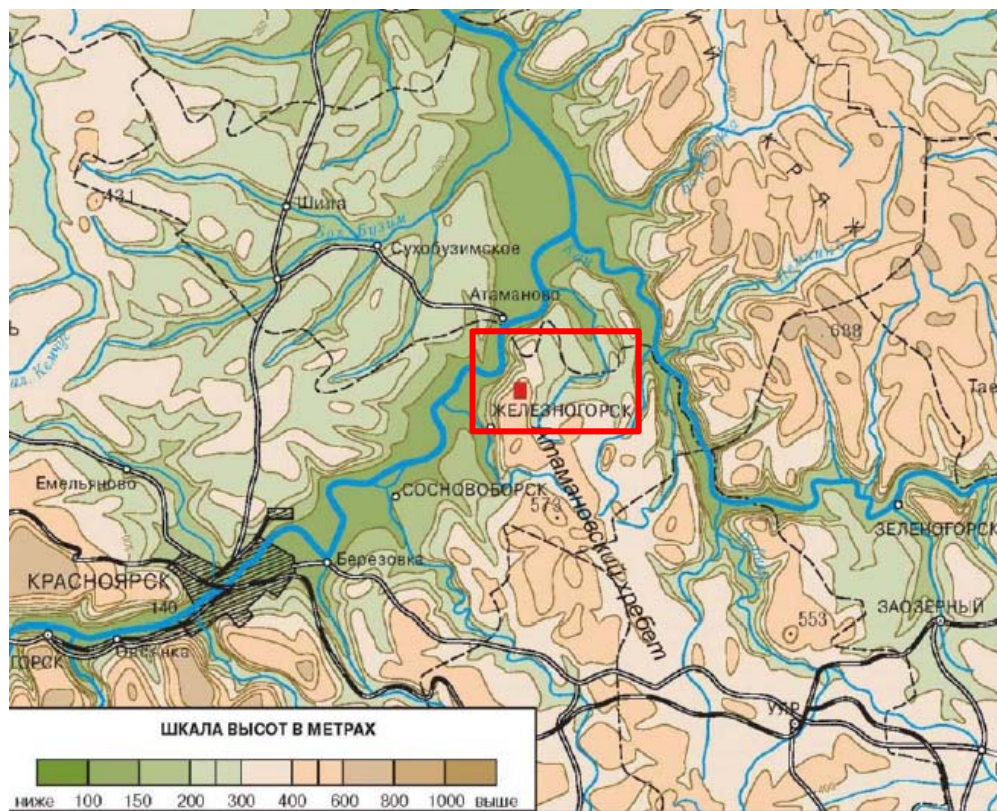
Площадка строительства



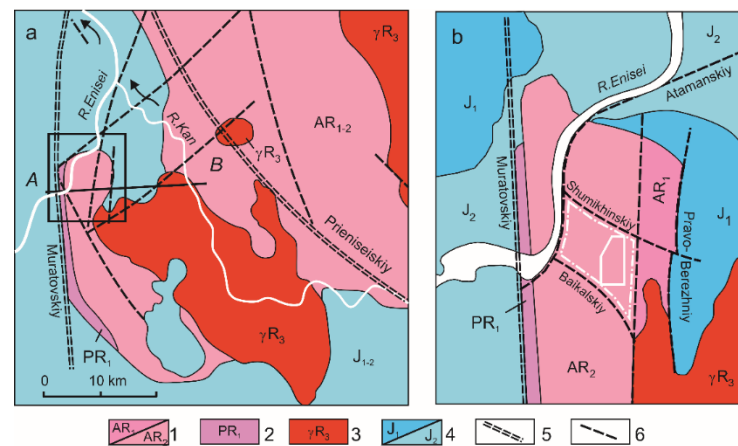
Месторасположение объекта “Енисейский”



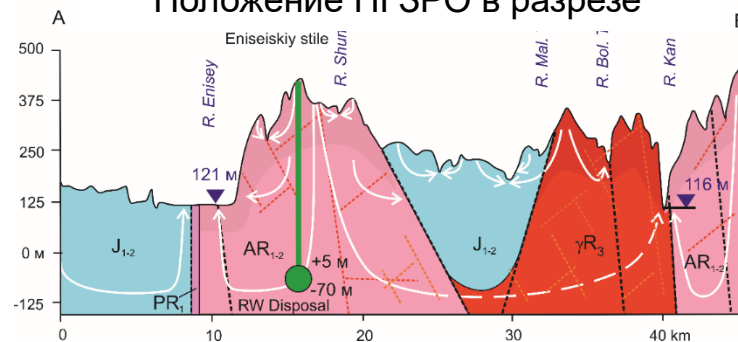
Схема расположения



Положение участка в геологическом и структурном плане



Положение ПГЗРО в разрезе

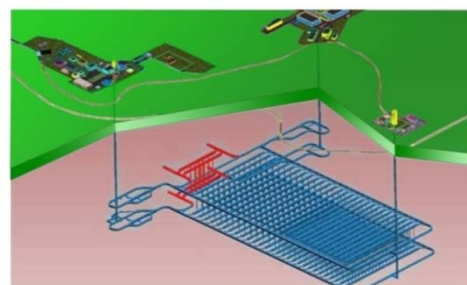
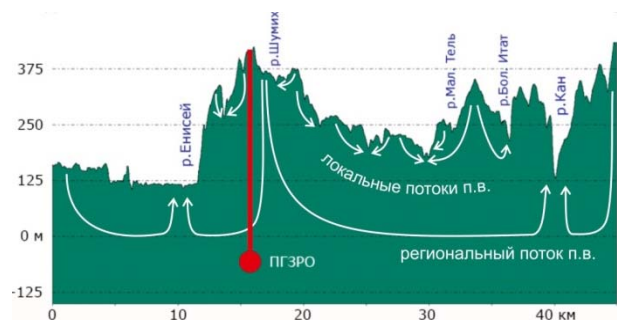


Оценка долговременной безопасности ПГЗРО в Нижнеканском массиве гранитогнейсовых пород (2014–2020 гг.)

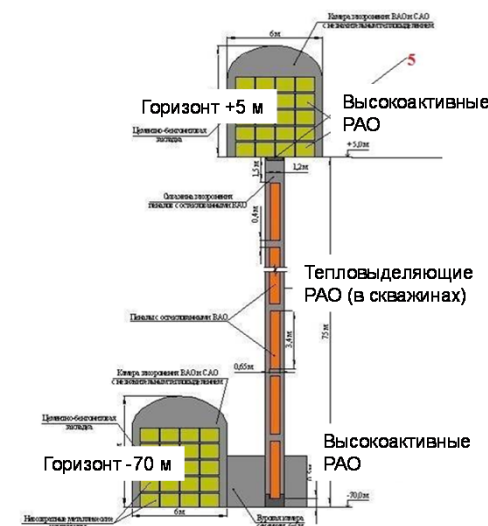


Задачи:

- Определение путей и потенциальных зон выхода активности в биосферу
- Опытное изучение гидрогеологических параметров массива
- Построение математических моделей, учитывающих формы переноса и фазы-носители активности – жидкая, коллоидная или газовая
- Определение времени достижения зон разгрузки
- Расчет активностей радионуклидов и их массовые потоки
- Расчет дозовых нагрузок на население и риски облучения



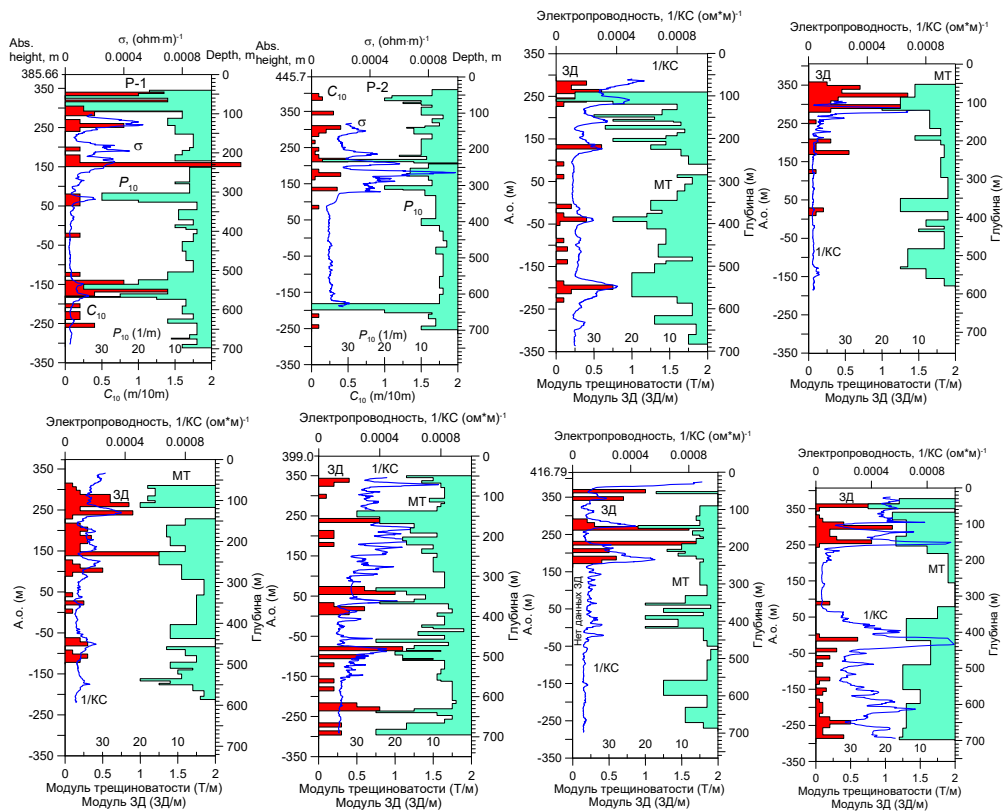
Конструктивные особенности



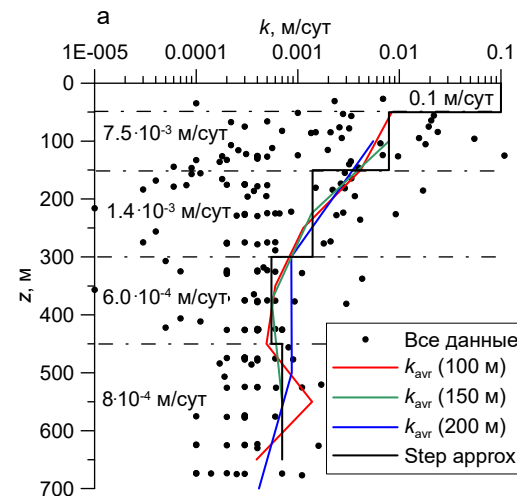
РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ



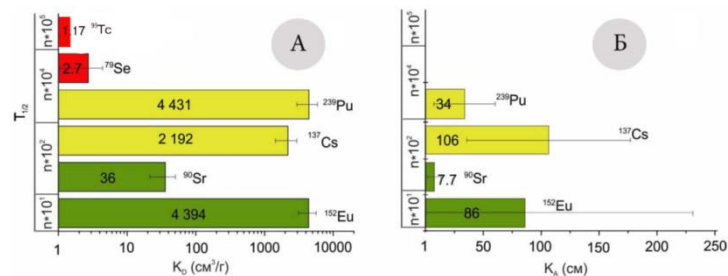
Зоны дробления



Изменение проницаемости с глубиной



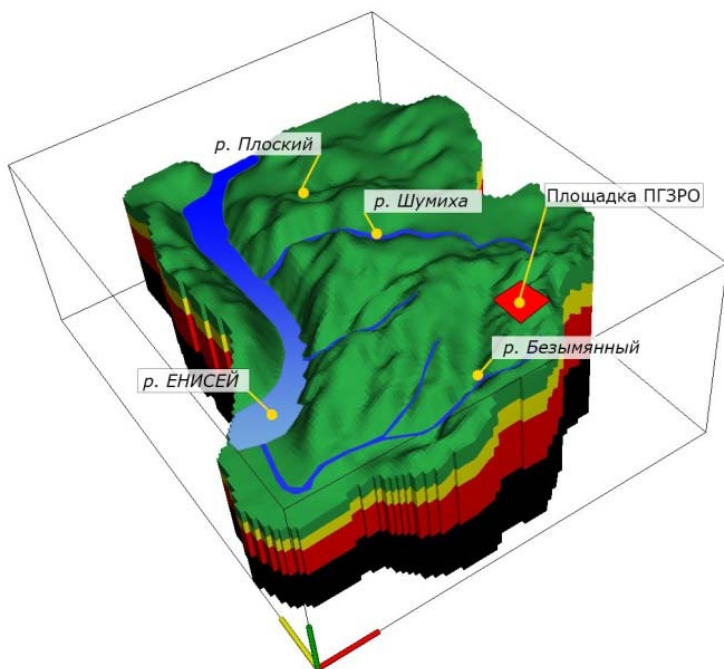
Коэффициенты сорбции радионуклидов Kd



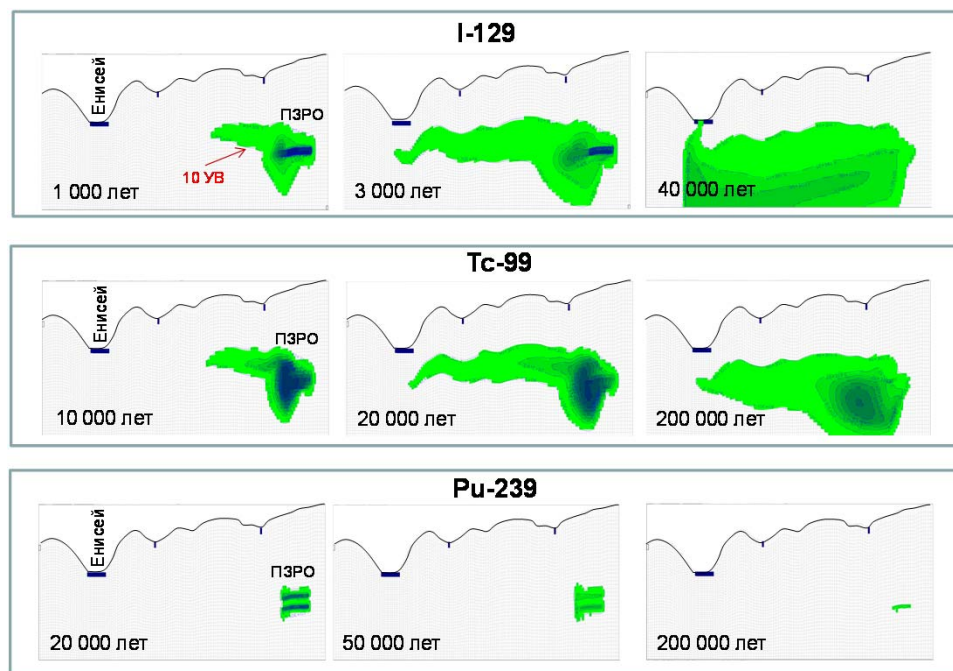
МОДЕЛИРОВАНИЕ МИГРАЦИИ РАДИОНУКЛИДОВ В МАССИВЕ



3D модель и прогнозы



Прогнозы



МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ ДВУХФАЗНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ НА УЧАСТКЕ ЕНИСЕЙСКИЙ

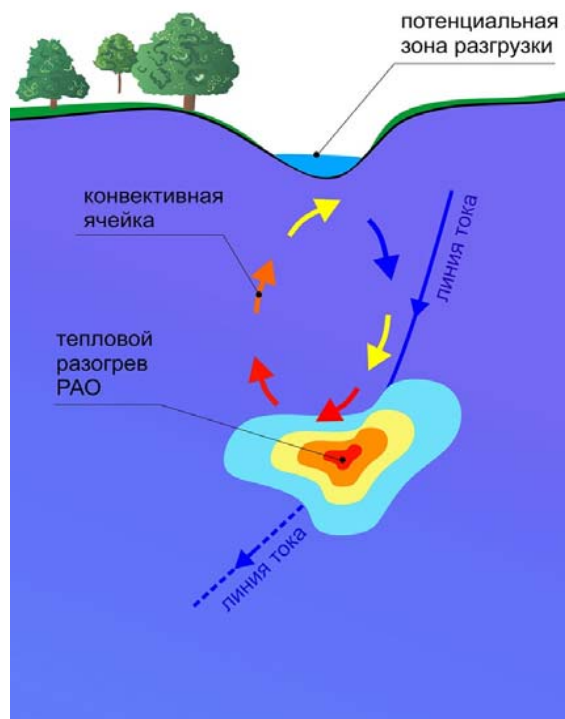


Задачи

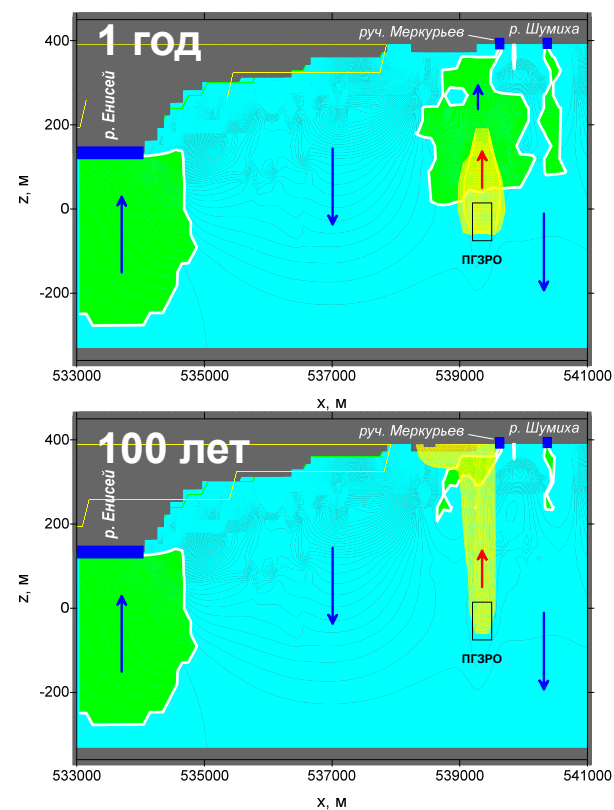
Задача 1: Оценить рост давления внутри изолированных горных выработок в условиях коррозии контейнеров и газогенерации, т.е. влияние газового фактора на безопасность захоронения РАО

Задача 2: Оценить возможность формирования альтернативных (быстрых) путей миграции радионуклидов за счет формирования тепловых конвективных ячеек вблизи ПГЗРО, а также восходящей миграции радионуклидов вместе с газовой фазой.

Концепция



Прогноз





ВЫВОДЫ

Рассмотренные среды (глины и трещиноватые гнейсы) и связанные с ними участки являются перспективными для изоляции РАО, в то же время для трещиноватого массива остается большое поле для дальнейшего исследования, поскольку:

- изучаемая среда отличается *высокой степенью гетерогенности и плохо поддается детерминированному описанию*, поэтому особую значимость приобретают *вероятностные и стохастические модели*;
- сочетание различных механизмов геомиграции и структурных особенностей породы не исключает формирование путей быстрого транспорта радионуклидов, что требует корректировки моделей, исходящих из концепции сплошной среды

ИССЛЕДОВАНИЯ НА АЭС

Факторы воздействия

- Радиационный
- Температурный
- Химический

Среды

- Поверхностные воды
- Подземные воды
- Почвы
- Донные отложения водоемов
- Биологические объекты (гидробионты, ихтиофауна ...)



Направления исследований

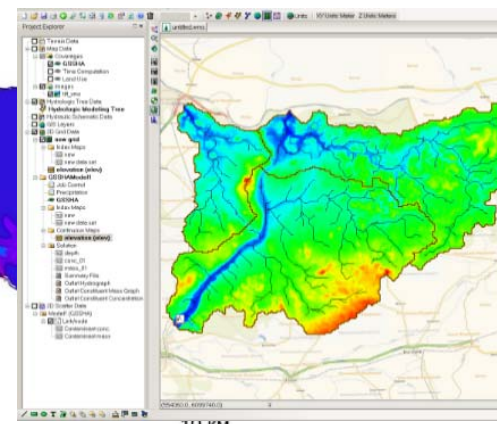
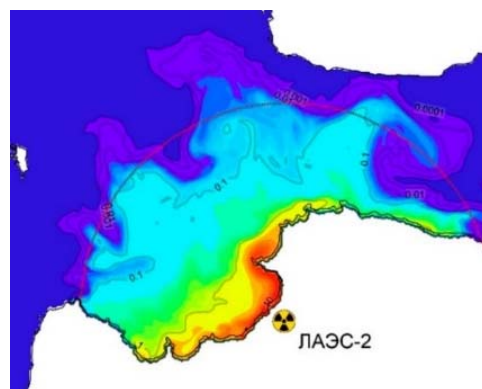
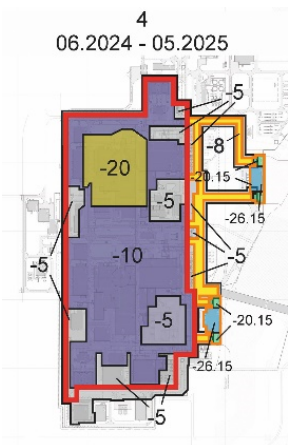


АЭС	Виды исследований							
	1	2	3	4	6	6	7	8
Российские АЭС								
Балтийская	+	+	+			+	+	
Белоярская	+	+	+			+	+	
Ленинградская	+	+	+	+	+	+		
Нововоронежская	+			+	+		+	
Смоленская					+			+
Зарубежные АЭС								
Бушер-2 (Иран)		+		+	+		+	
Пакш-2 (Венгрия)			+	+	+		+	
Эль-Дабба (Египет)			+					
АЭС в Узбекистане							+	
Фукусима (Япония)								+

1. Комплексная оценка состояния поверхностных вод по радиологическим, гидрохимическим и гидробиологическим показателям.
2. Оценка состояния подземных вод по радиологическим и гидрохимическим показателям.
3. Анализ и прогноз воздействия АЭС на водоемы охладители.
4. Прогноз гидродинамического воздействия на подземные воды при строительстве и эксплуатации АЭС.
5. Прогноз радиологического и гидрохимического воздействия на подземные воды при строительстве и эксплуатации АЭС.
6. Оценки ущерба водным биоресурсам в зоне влияния АЭС.
7. Анализ масштабов и характера воздействия АЭС на природные среды при эксплуатации и запроектных авариях.
8. Термодинамическое моделирование сорбционных процессов и устойчивости кориума.

МЕТОДЫ И ПОДХОДЫ

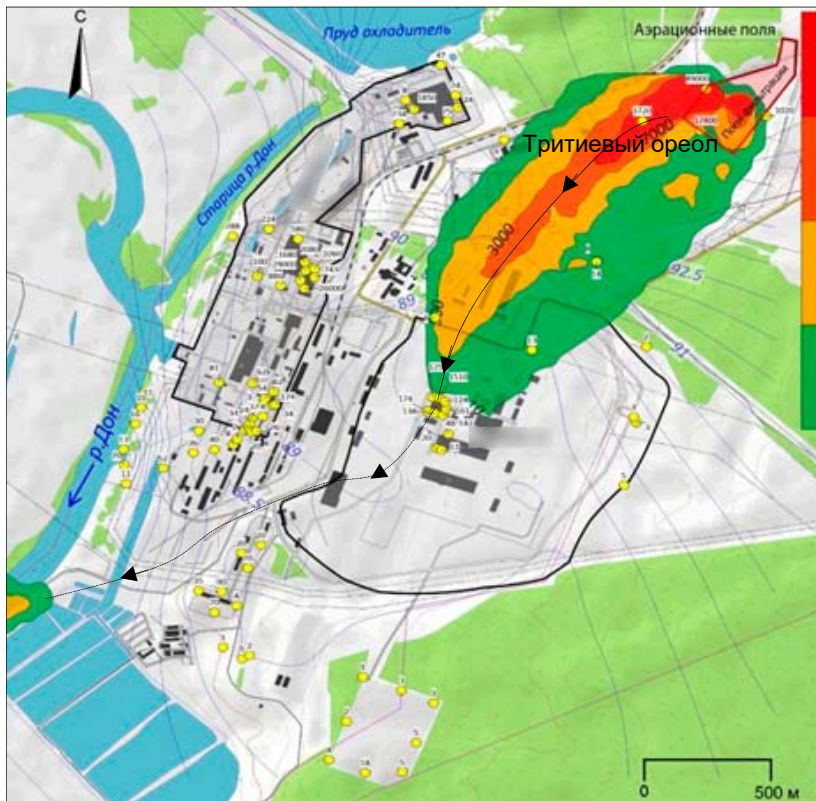
- Сопровождение инженерных изысканий и проектных решений на АЭС
- Комплексный мониторинг водных экосистем и подземных вод
- Экспериментальное изучение параметров и процессов
- Создание математических моделей объектов



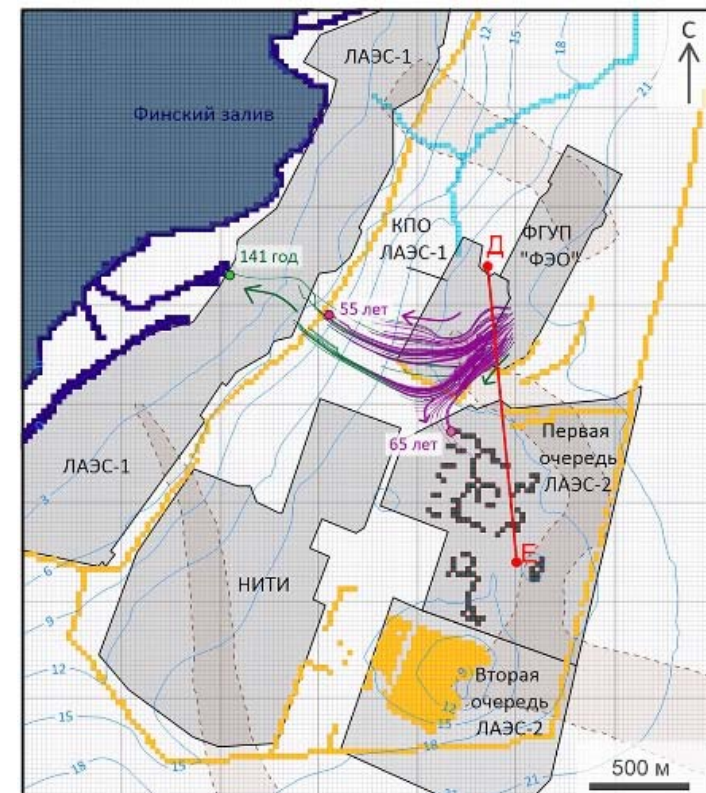
РАДИОАКТИВНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ СТРОИТЕЛЬНОГО ДРЕНАЖА ОТ ДЕЙСТВУЮЩИХ БЛОКОВ



Нововоронежская АЭС:

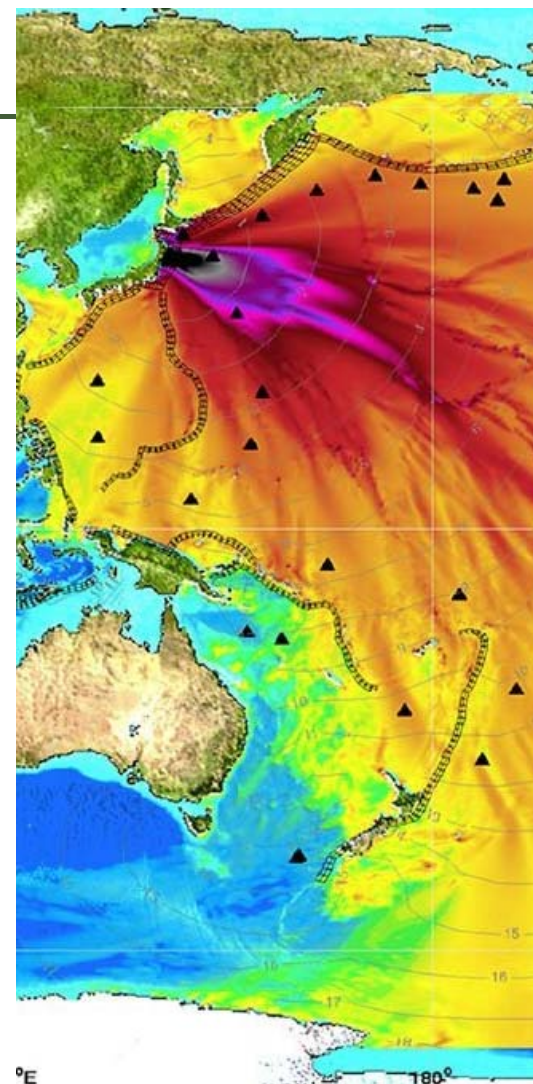
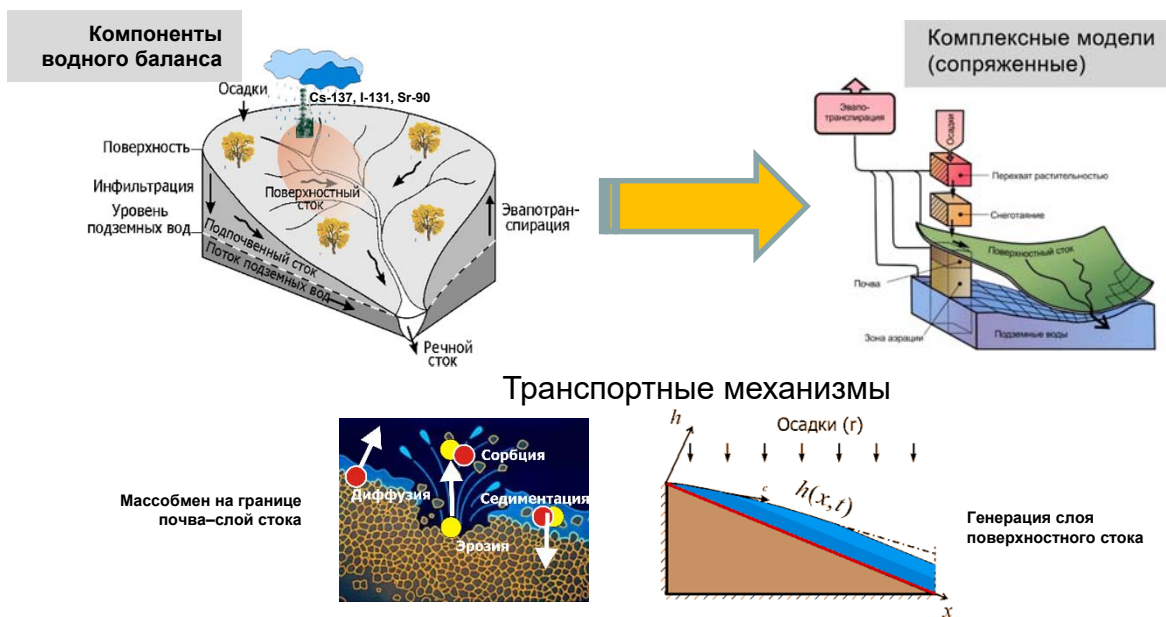


ЛАЭС-2:

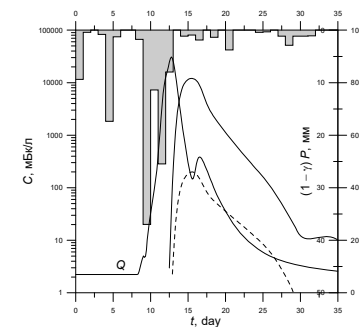
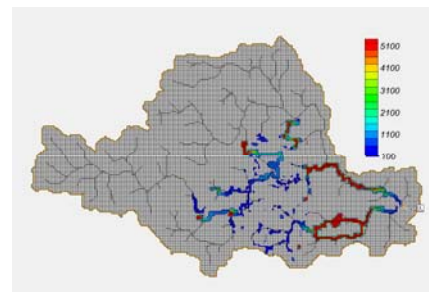
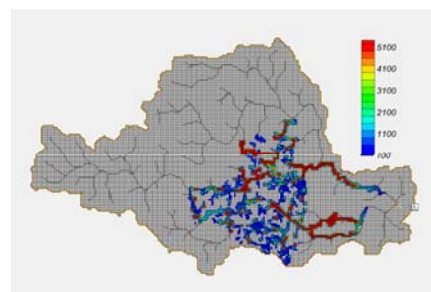
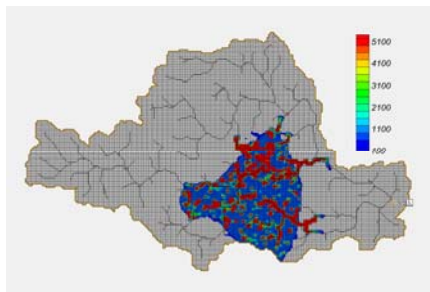


Прогнозы последствий аварийных выбросов на АЭС

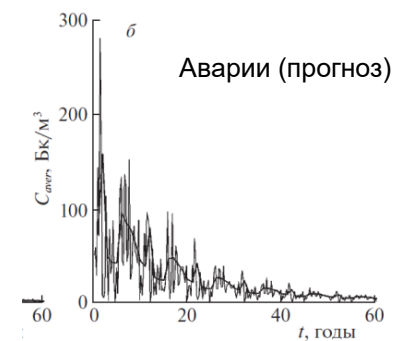
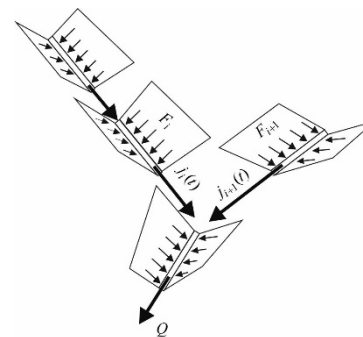
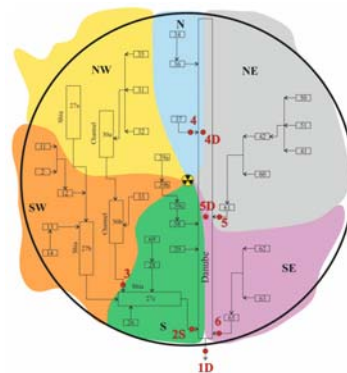
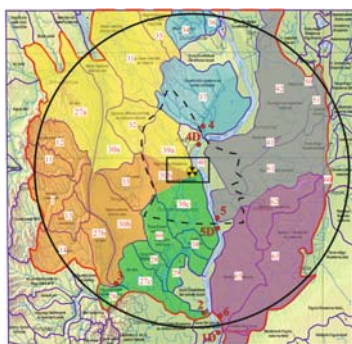
- Сопряжение сценариев аварий на АЭС с комплексом гидролого-гидрогеологических моделей
- Концепция бассейно-секторального принципа фрагментации модельных областей
- Аналитические и численно-аналитические модели переноса радионуклидов поверхностным стоком, увязанными с ландшафтными характеристиками и условиями землепользования территорий, подвергшихся выбросам



**Сценарий загрязнения речных вод бассейна р. Пышма (Cs-137) при аварии на БН-800 (Белоярская АЭС):
 Модель с распределенными параметрами**



**Сценарий загрязнения бассейна р. Дунай (Cs-137) при аварии на ВВР-1200 (АЭС Пакш II, Венгрия):
 Модель «цепочек» с сосредоточенными параметрами**





ВЫВОДЫ

Гидрогеология вышла за традиционные рамки изучения подземных вод как обособленной системы. Требуется:

1. Комплексация геофильтрационных моделей:

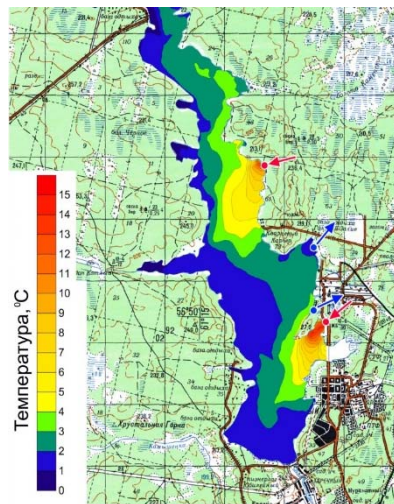
- с моделями поверхностного стока
- с моделями атмосферного переноса и осаднения ПД
- с моделями геохимических преобразований

2. Расширение методов получения параметров сопряженных процессов (например, параметры гидрофизических функций, коэффициенты массообмена на границе почвы и склонового стока)

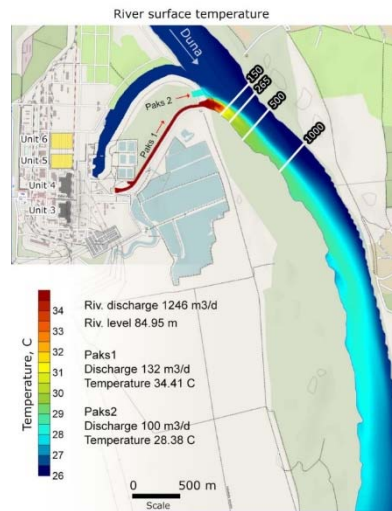
Оценка воздействия теплового сброса с АЭС на водные объекты



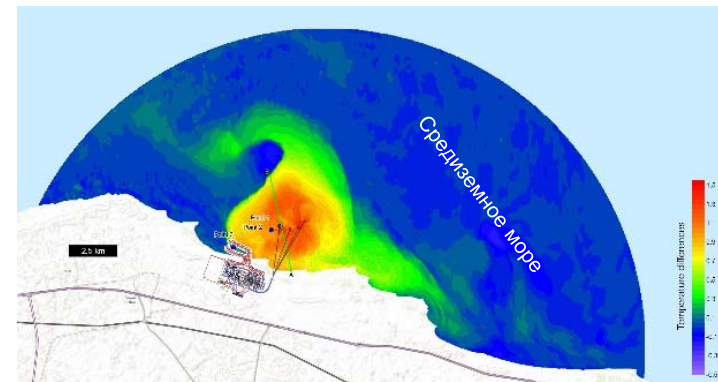
Белоярское в/хр., БАЭС (Россия)



Р. Дунай, АЭС Пакш II (Венгрия)

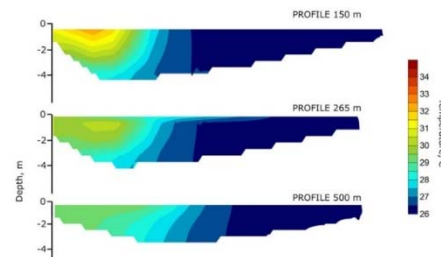


Тепловое загрязнение залива Эль-Дааба (АЭС Египет)



Сценарии

№ сценария	БН-600	БН-800	БН-1200
1	-	-	-
2	+	-	-
3	+	+	-
4	+	+	+
5	-	+	+
5+	-	-	+



Образовательная и информационная деятельность



Образование

- чтение лекций в СПбГУ;
- ВКР магистров и аспирантов;
- производственные практики для студентов, в т.ч. на объектах Росатома;
- курсы повышения квалификации.



Ежемесячная рассылка новостей в области наук о Земле



18 лет
190 номеров
Более 2000 активных читателей

НОВОСТИ



КОНФЕРЕНЦИИ



КНИГИ

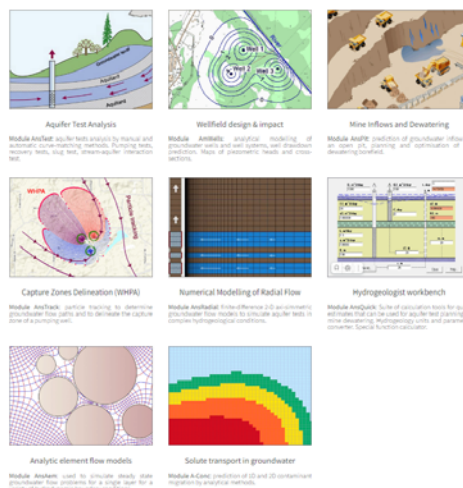


Разработка программных средств

База Знаний рабочее место гидрогеолога



Программный комплекс ANSDIMAT расчеты скважинных систем



Пользователи более 1500



Программный комплекс ANSDIMAT был рекомендован для применения на объектах ГК «Росатом»

http://ansdimat.com/download/Exp_zakl_Sysin.pdf

Получил положительное заключение **Министерства здравоохранения РФ** о соответствии программного комплекса требованиям законодательства в области обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия человека

<http://www.atomic-energy.ru/news/2014/11/05/52632>

Организационно-правовое обеспечение деятельности института/отделения

- Лицензии Ростехнадзора
 - на проектирование АЭС
 - на эксплуатацию АЭС
 - на захоронение и переработку РАО
- Членство в СРО «Союзатомгео»
- Международная сертификация СМК
- Венгерский аудит ядерной квалификации
- Лицензирование и приобретение программных средств
- Специальная оценка условий труда и пр.



Венгерский ядерный аудит
6–8 августа 2019 г.



Основные публикации (2011-2022 гг.)



ЭКСПЕРТНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ И РАБОТА С ОБЩЕСТВЕННОСТЬЮ

СПБО ИГЭ РАН активно привлекается для ведения экспертной деятельности (подготовка экспертных заключений, выступления на общественных слушаниях, разработка методических и нормативных документов)



Спасибо за внимание!
