

Применение технологий виртуальной реальности при разработке месторождений урана способом СПВ

Курасова Юлия Дмитриевна
Ведущий инженер производственного отдела АО «Далур»

М.В. Гуцул, А.Д. Истомин, М.Д. Носков, А.А. Чеглоков



VI международный симпозиум « УРАН : ГЕОЛОГИЯ, РЕСУРСЫ, ПРОИЗВОДСТВО»
22-23 апреля 2025 года г. Москва ФГБУ «ВИМС»

Актуальность

При разработке месторождений урана методом скважинного подземного выщелачивания единственной информацией о процессах, происходящих в продуктивном горизонте, являются данные исследования скважин и состава поднимаемых на поверхность технологических растворов.

Скважинное подземное выщелачивание

Для обеспечения эффективной добычи урана методом СПВ и получения целостного представления о состоянии продуктивного горизонта можно использовать технологию виртуальной реальности.



Карьерный метод

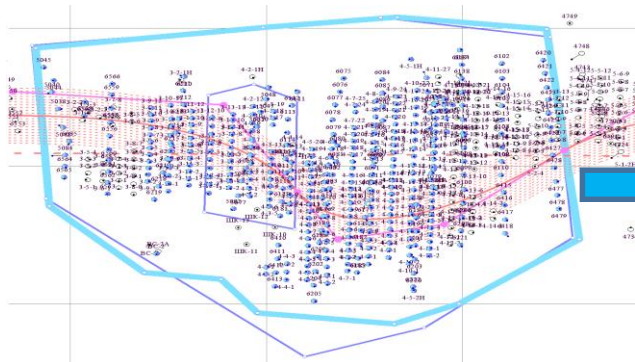


Шахтный метод

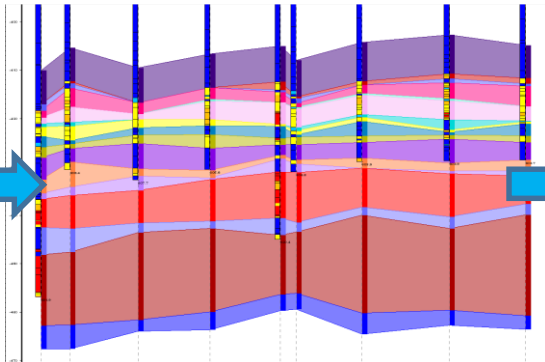


3D сопряженная геологическая геофильтрационная модель залежи

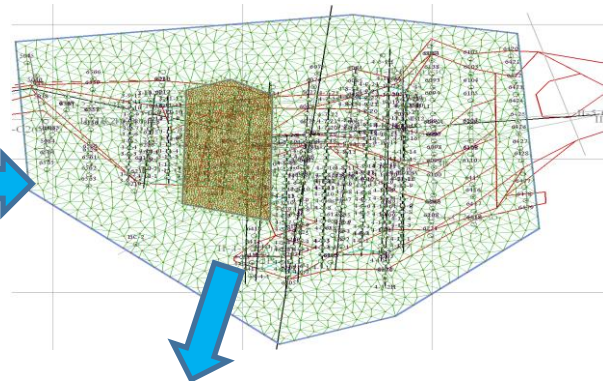
Выделение области моделирования



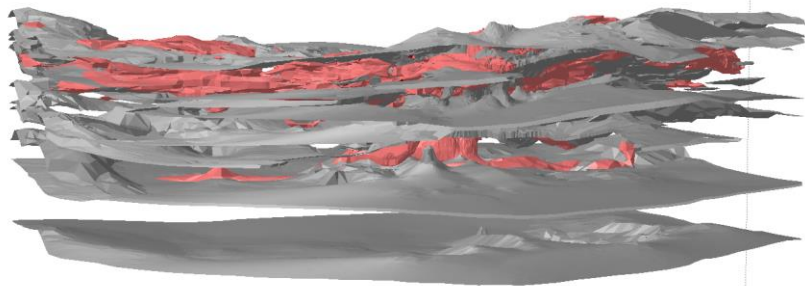
Выделение пропластков



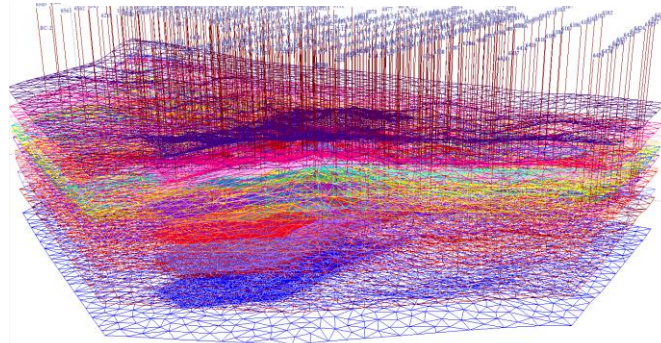
Построение 2D сетки



Построение 3D модели

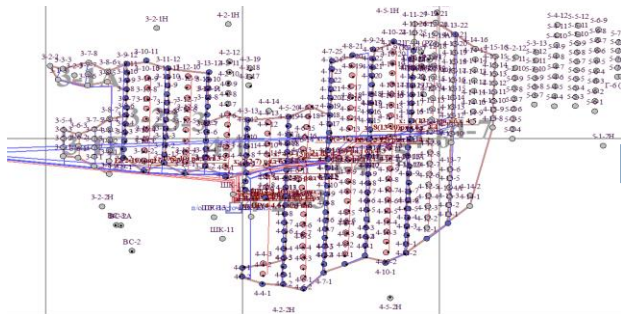


Построение 3D сетки



3D геотехнологическая модель процесса подземного выщелачивания

Построение технологической схемы



Задание режимов

Режимы скважин

Скважина: нагнетательная, 1-512

Прогноз Устранение Масштаб По блокам

Скважина	Режим	№ скважины (в/м)	начало (дд.мм.гг)	окончание (дд.мм.гг)	добыч (м³/ч)	H2SO4 (г/л)	U (в/м²)	E _н (в/м)	Y (м³/л)
1-514	1	1	01.01.1980	01.01.1980	0.0000	0.00	0.00	100.00	0.00
1-515	2	2	01.01.1980	01.01.1980	1.40	6.99	0.00	360.00	1200.00
1-516	3	3	01.07.1980	01.08.1980	1.36	7.10	0.00	360.00	1200.00
1-517	4	4	01.08.1980	01.08.1980	1.56	10.00	0.00	360.00	1200.00
1-518	5	5	01.08.1980	13.08.1980	1.54	14.16	2.20	360.00	1200.00
1-519	6	6	13.08.1980	01.10.1980	1.02	14.16	2.20	360.00	1200.00
1-520	7	7	01.10.1980	01.11.1980	1.19	9.39	2.20	360.00	1200.00
1-521	8	8	01.11.1980	15.11.1980	1.39	13.17	2.70	360.00	1200.00
1-522	9	9	15.11.1980	01.12.1980	1.39	13.17	2.70	360.00	1200.00
1-523	10	10	01.12.1980	05.12.1980	1.25	11.59	2.10	360.00	1200.00
1-524	11	11	05.12.1980	01.01.1980	1.83	11.59	2.10	360.00	1200.00
1-525	12	12	01.01.1980	01.02.1980	1.15	11.81	2.90	360.00	1200.00

1 [X] Очистить [X] Добавить [X] Удалить [X] Загрузить [X] Сохранить

OK

Определение параметров моделирования

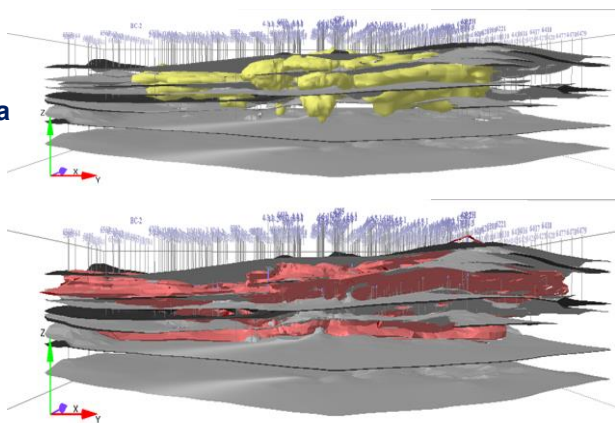
Параметры моделирования

параметры проекта	параметры континентов	параметры комплексного моделирования	равновесные параметры
начальное значение концентрации X	1E-8	моль/л	
накапливаемое значение концентрации X	5.2	моль/л	
наклон кривой в верхней части изотермы X	0.3	r/n	
координата точки перегиба изотермы X	1E-8	r/n	
параметр наклона кривой в точке перегиба изотермы X	1E-7	r/n	
параметр макс. знач. конц. кислоты изотермы X	5	r/n	
начальное значение концентрации UO2	1E-8	моль/л	
накапливаемое значение концентрации UO2	0.005	моль/л	
наклон кривой в верхней части изотермы UO2	0.5	r/n	
координата точки перегиба изотермы UO2	1.5	r/n	
параметр наклона кривой в точке перегиба изотермы UO2	0.5	r/n	
параметр макс. знач. конц. кислоты изотермы UO2	5	r/n	
начальное значение концентрации U	1E-8	моль/л	
накапливаемое значение концентрации U	0.0011	моль/л	
наклон кривой в верхней части изотермы U	0.8	r/n	
координата точки перегиба изотермы U	2.5	r/n	
параметр наклона кривой в точке перегиба изотермы U	0.5	r/n	
параметр макс. знач. конц. кислоты изотермы U	5	r/n	

загрузить ... сохранить ... OK Отмена

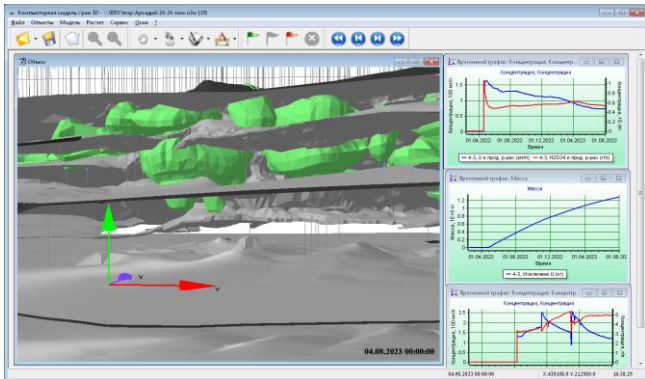
Подготовка результатов расчета

Распределение концентрации урана



Рудное тело

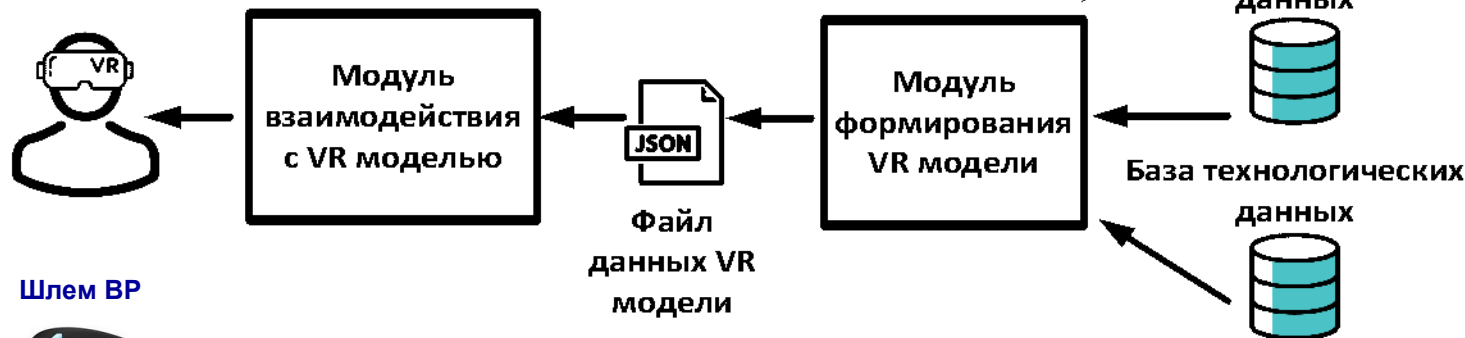
3D геотехнологическое моделирование



Программные и технические решения

- Представление объектов в VR пространстве;
- Вывод информации по объектам.

- Определение набора данных;
- Формирование файла с данными VR модели.



Шлем VR



Контроллеры VR

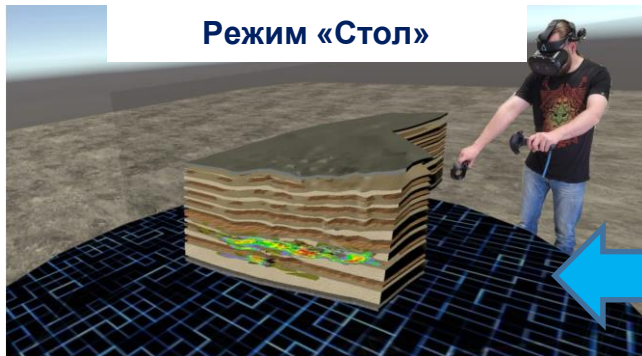


Инструменты разработки	Инструмент
Модуль формирования файла VR модели	
Среда разработки	Embarcadero RAD Studio 10.3
Язык разработки	C++
Язык взаимодействия с БД	T-SQL
Модуль взаимодействия с VR моделью	
Среда разработки	Unity
Язык разработки	C#
Локальная база данных	JSON-файл



Модуль взаимодействия с VR моделью. Режимы представления данных

Режим «Стол»



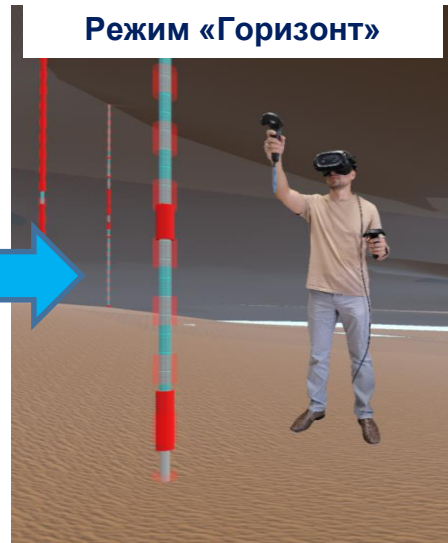
- Модель подвешена над плоскостью виртуального стола;
- Пользователь находится рядом со столом.

Стартовая сцена



- Позволяет осуществлять выбор VR модели и режим представления данных

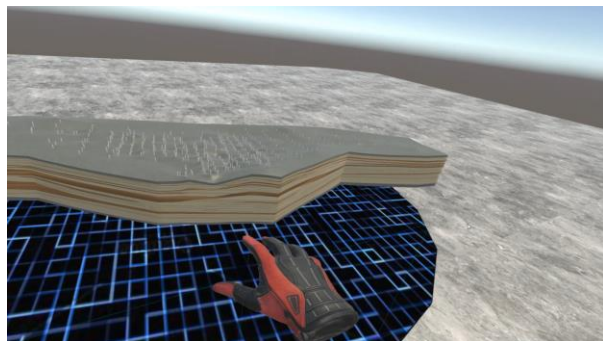
Режим «Горизонт»



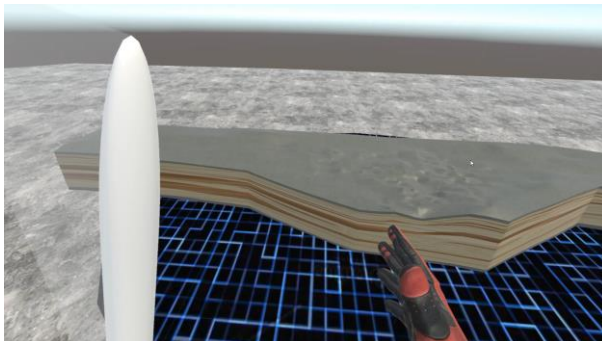
- Пользователь находится внутри продуктивного горизонта.

Режим «Стол». Инструменты взаимодействия с VR объектами

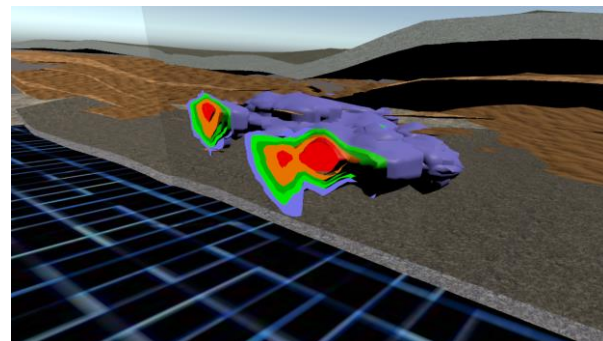
Вращение стола



Раздвижение слоев

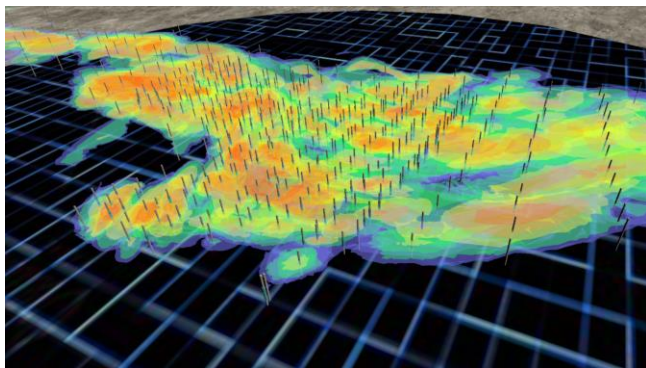


Геологический разрез

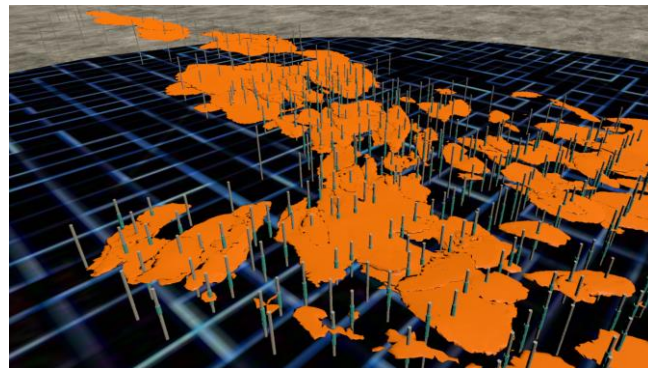


Представление рудного тела

Полупрозрачные
изоповерхности

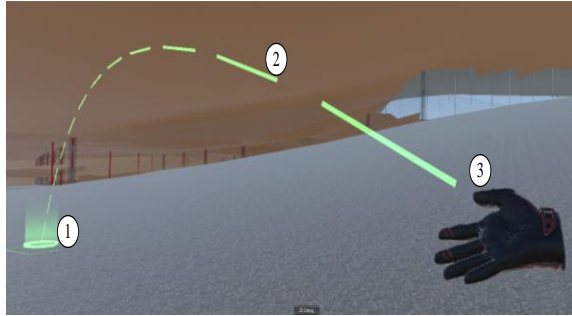


Непрозрачные
изоповерхности

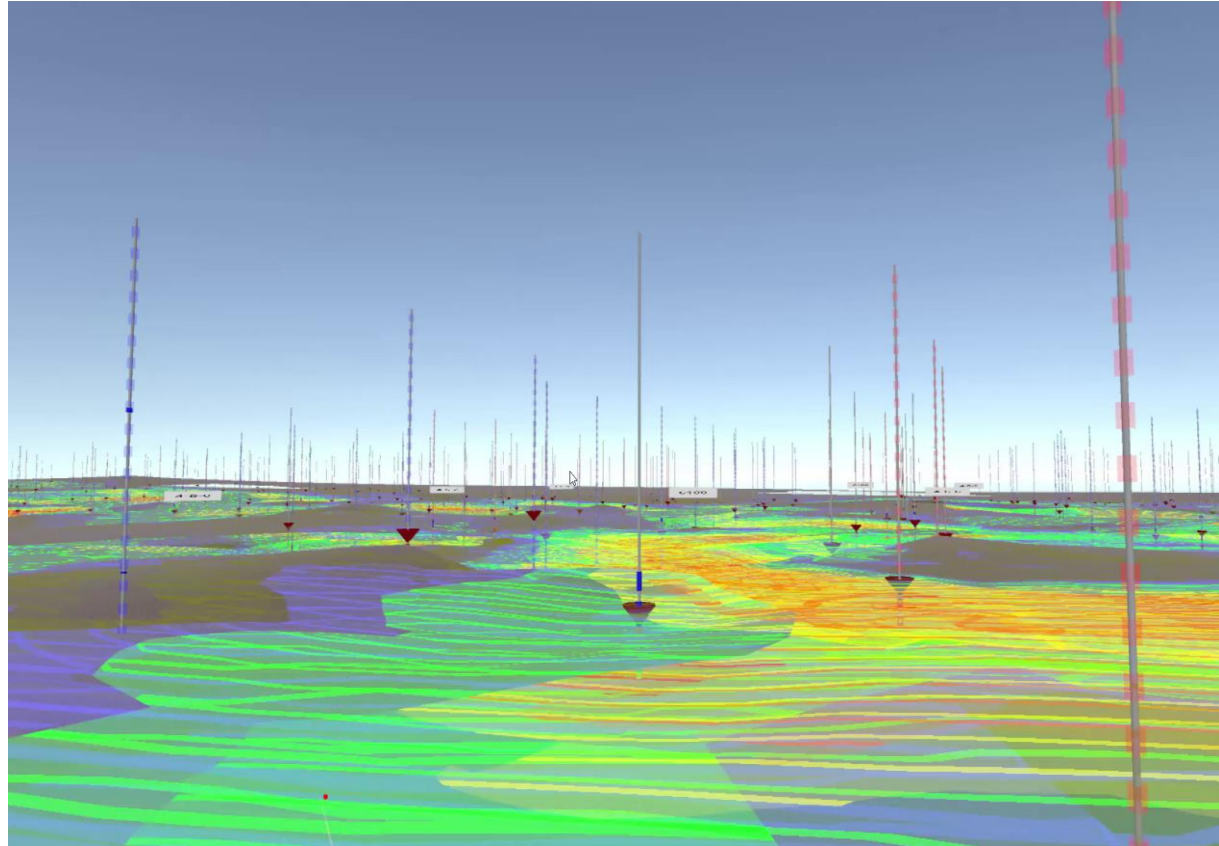
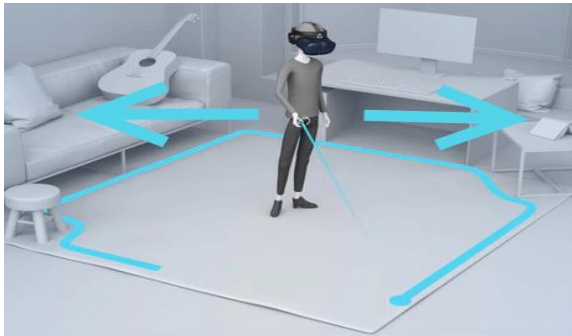


Режим «Горизонт». Инструменты перемещения пользователя в пространстве модели

Телепорт в области
видимости

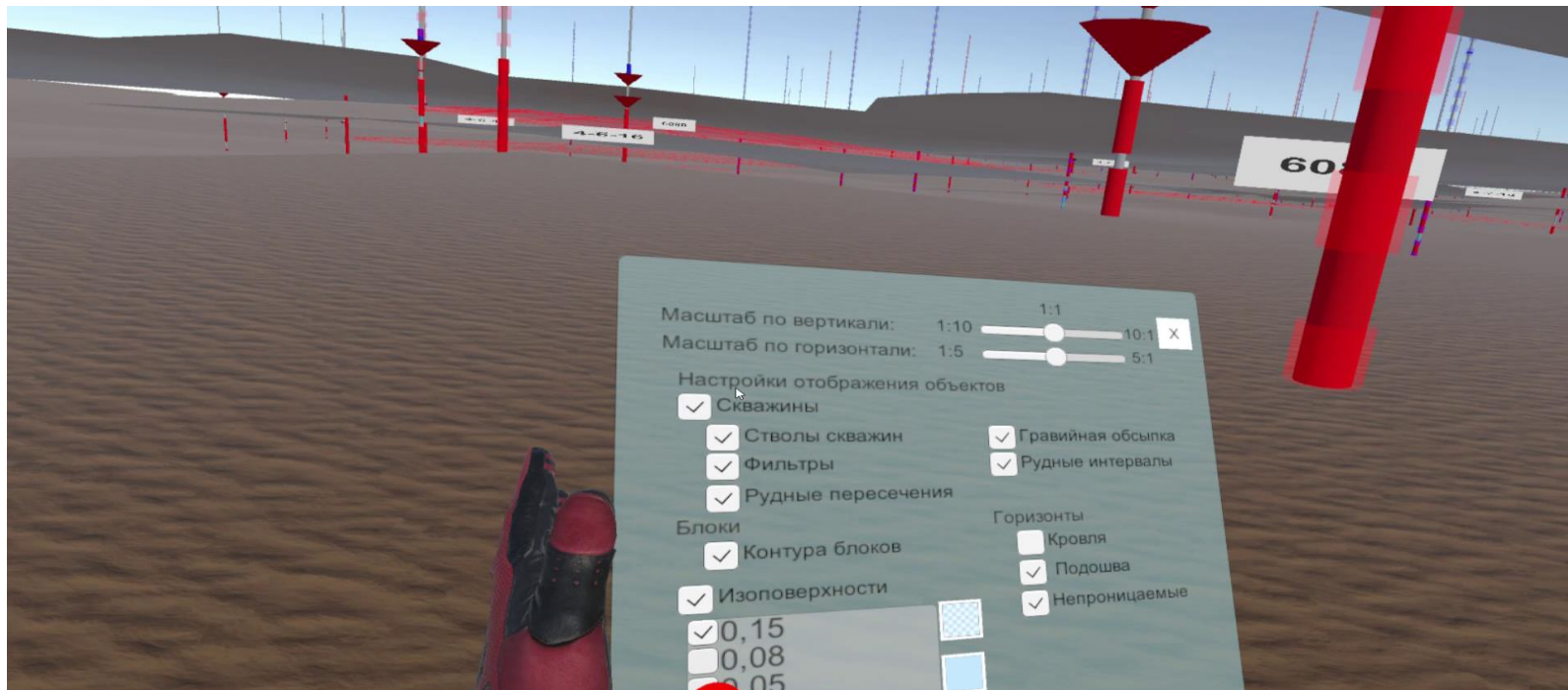


Перемещение по игровой
зоне



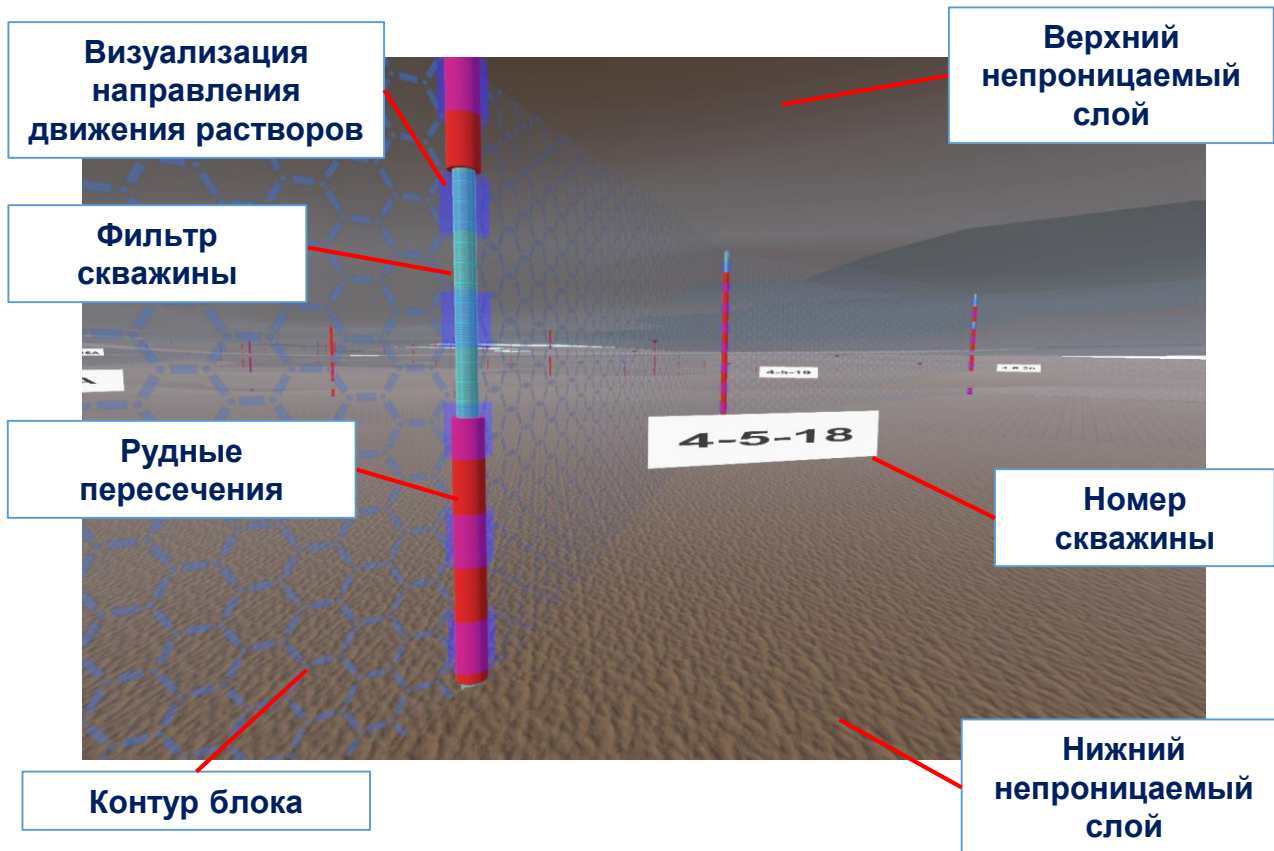
Режим «В пласте». Представление рудного тела

Представление рудного тела с помощью полупрозрачных изоповерхностей

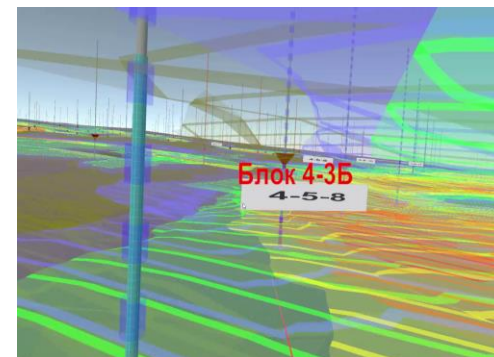


Цвета поверхностей настраиваются пользователем при создании VR модели, и соответствуют разному содержанию урана

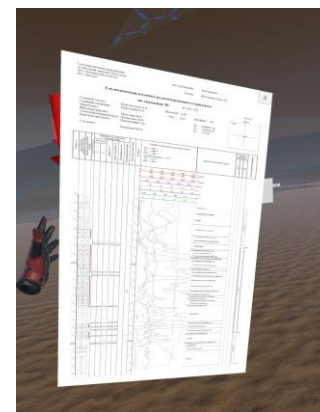
Режим «Горизонт». Представление горизонтов, скважин и информации по скважинам



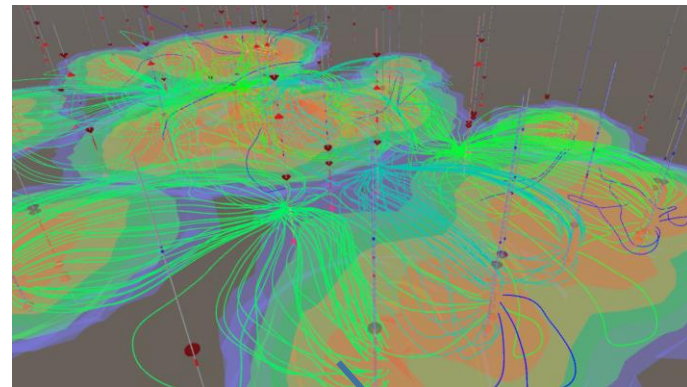
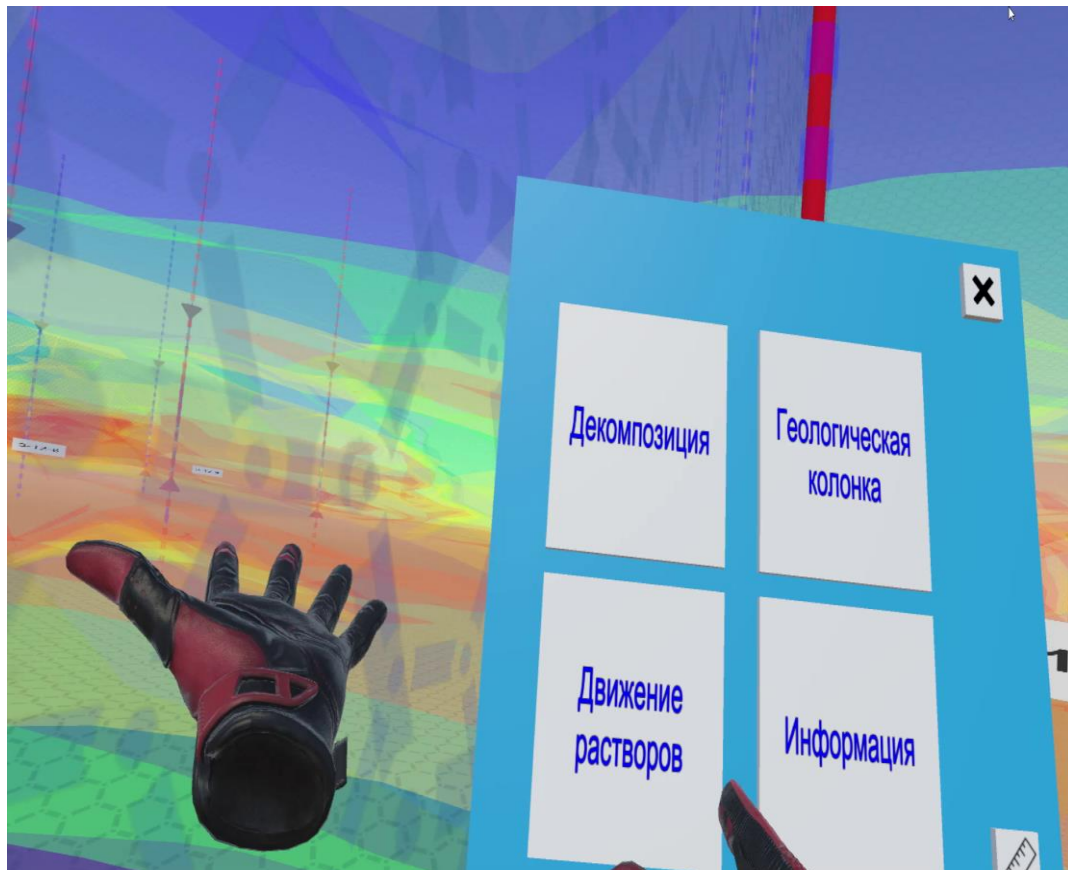
Декомпозиция скважины



Геологическая колонка



Режим «Горизонт». Движение растворов



Ленты тока

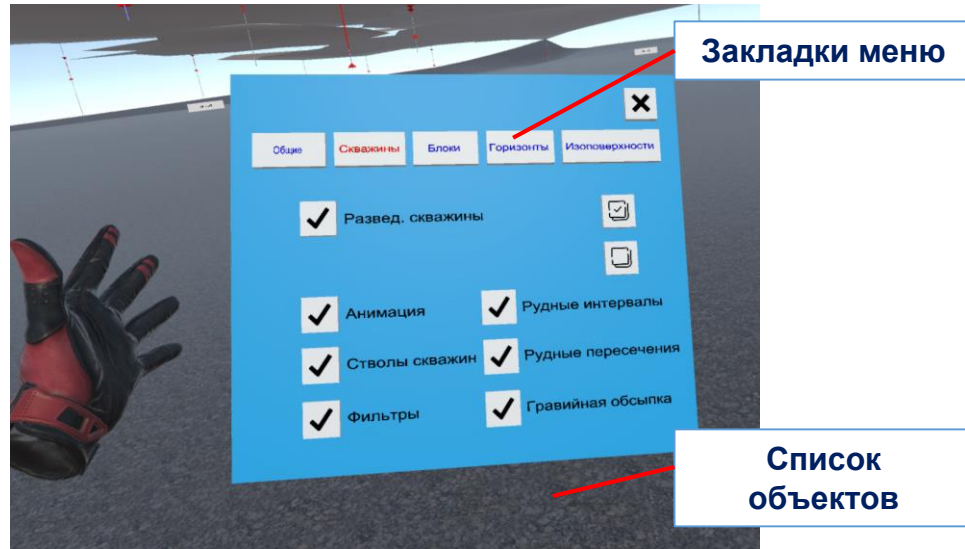
Цвет лент тока зависит от концентрации урана в области пролета частиц

Режим «В пласте». Инструменты взаимодействия с моделью

Меню инструментов



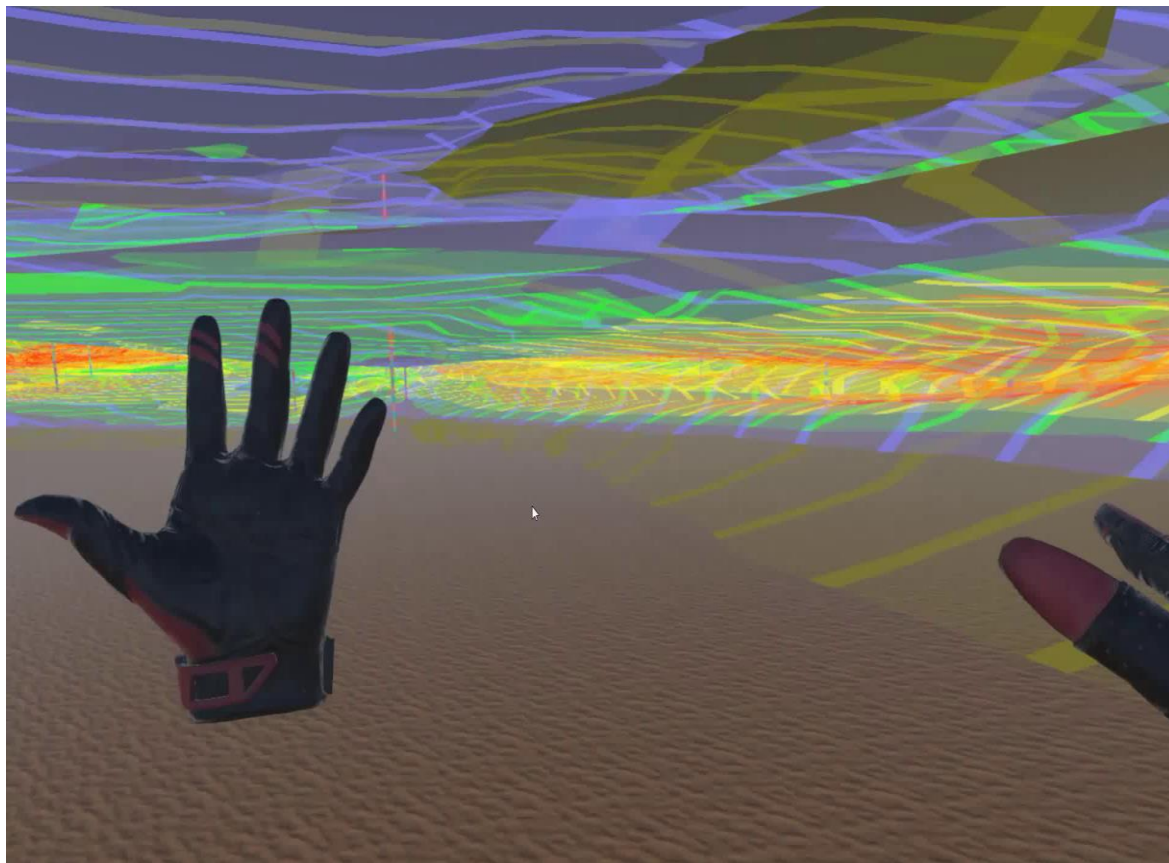
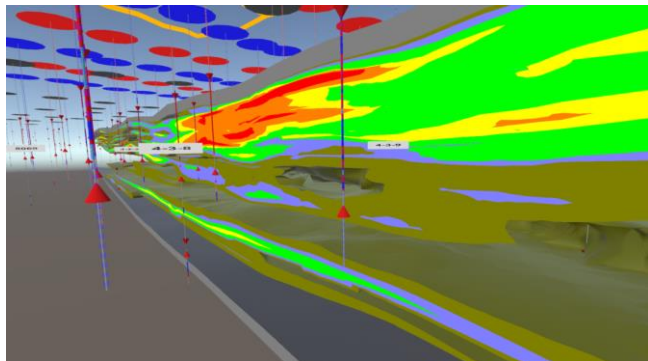
Меню настройки отображения



Взаимодействие с меню осуществляется с помощью виртуальной руки, привязанной к контроллеру

Режим «Горизонт». Инструмент «Секущая плоскость»

«Геологический разрез»




ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УРАНА СПОСОБОМ СПВ

- Проектирование схем вскрытия месторождений и определение интервалов посадки фильтров технологических скважин.
- Выявление участков блоков, где СПВ происходит недостаточно эффективно. Причинами неэффективной отработки блоков может быть образование застойных гидродинамических зон, подтягивание пластовых вод откачными скважинами, расположенными вблизи границы блока, растекание технологических растворов за контур блока и др.
- Подготовка предложений по оптимизации отработки эксплуатационных блоков за счет изменения дебитов технологических скважин, переключения скважин из нагнетания в откачку и наоборот, а также с помощью сооружения новых технологических скважин.
- Знакомство с технологией СПВ.
- Обучение студентов, повышение квалификации сотрудников предприятия.
- Консультации экспертов на основе удаленного доступа.

Заключение

Применение технологии виртуальной реальности для изучения пластового инфильтрационного месторождения урана позволяет повысить качество управленческих решений при проектировании и отработке эксплуатационных блоков за счет::

- получения целостного представления о структуре продуктивного горизонта за счет эффекта присутствия внутри геологической среды;
- оперативного доступа к геологической, гидрогеологической и геотехнологической информации о морфологии рудных тел, фильтрационном строении продуктивного горизонта, интервалах посадки фильтров технологических скважин.

<div>РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ</div> <div></div> <div>ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ</div> <div>ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ</div>		<div>RU2021618447</div>
<div>Номер регистрации (свидетельства): 2021618447</div> <div>Дата регистрации: 27.05.2021</div> <div>Номер и дата поступления заявки: 2021613085 11.03.2021</div> <div>Дата публикации и номер бюллетеня: 27.05.2021 Бюлл. № 6</div> <div>Контактные реквизиты: 8 (3022) 21-25-15, referent@hiagda.ru</div>	<div>Автор(ы): Гладышев Андрей Владимирович (RU), Гудул Михаил Владимирович (RU), Носков Михаил Дмитриевич (RU), Сакирко Георгий Константинович (RU), Чеглов Алексей Александрович (RU)</div> <div>Правообладатель(и): Акционерное общество «Хиагда» (RU)</div>	
<div>Название программы для ЭВМ: «Программное обеспечение для представления информации о месторождениях урана палеодолитного типа в виртуальном пространстве»</div>		
<div>Реферат: Программа предназначена для повышения эффективности разработки месторождений урана палеодолитного типа способом скважинного подземного выщелачивания путем использования технологий ВР для представления и анализа геологической информации. Программа позволяет: осуществлять взаимодействие с геологической базой данных; выбор и настройку необходимой информации о геологической среде; представление всех геологических объектов в виртуальном пространстве (с помощью шлема виртуальной реальности); осуществлять взаимодействие пользователя с объектами ВР модели (с помощью ВР контроллеров); выводить всю необходимую информацию по объектам. Тип ЭВМ: IBM PC - совмест. ПК. ОС: Windows 10.</div>		
<div>Язык программирования:</div>		<div>C++</div>
<div>Объем программы для ЭВМ:</div>		<div>7,77 МБ</div>



ДАЛУР
РОСАТОМ

Спасибо за внимание

Курасова Юлия Дмитриевна
Ведущий инженер производственного отдела АО «Далур»

Тел.: +7 (3522) 60-00-39 доб 117
E-mail: YDKurasova@rosatom.ru
<http://www.dalur.armz.ru>

22-23.04.2025