Опыт и перспективы применения ИИ для оценки, анализа и прогноза радиационной обстановки в задачах АГР

Киселев А.А., Делова М.И., Филиппов М.Ф., Арон Д.В.

XX Международный ядерный форум
«Безопасность ядерных технологий: аварийная готовность и реагирование»
АНО ДПО «Техническая академия Росатома», г. Обнинск,
5 – 9 октября 2026 г

Актуальность и востребованность темы ИИ в АГР

Национальная стратегия в сфере ИИ



- Указом Президента (2019) Российской Федерации была утверждена Национальная стратегия развития искусственного интеллекта на период до 2030 года
- Госкорпорация «Росатом» – соавтор Стратегии и один из лидеров собственных профильных исследований

Стратегия: Вектор развития

- Рост количества РИД в сфере ИИ;
- Разработка ПО с ИИ для различных сфер деятельности (к 2030)

Зарубежный опыт демонстрирует необходимость:

- Расширения спектра задач, решаемых с помощью ИИ;
- Перехода от классических экспертных систем к более совершенным системам, практически автономно функционирующим в условиях дефицита времени

МАГАТЭ 2025: перспективы приложения технологий ИИ

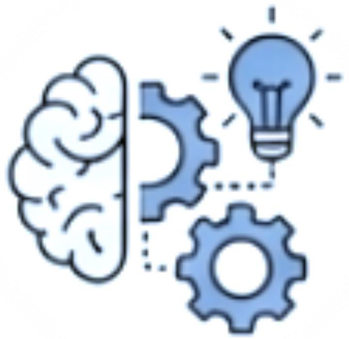
В 2025 году МАГАТЭ закрепляет перспективы применения ИИ на всех этапах жизненного цикла АЭС

- Прогнозирование отказов оборудования
- Диагностика аномалий работы
- Автоматизация обработки больших объемов документации
- Информационная поддержка операторов АЭС

Уточнение определения Систем на базе ИИ

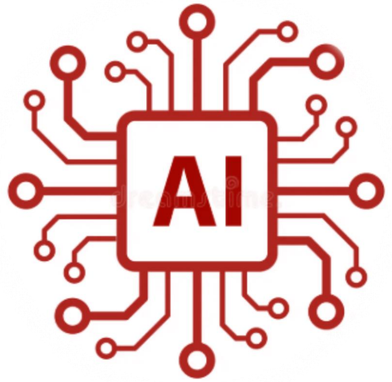
Определение из Стратегии

Комплекс технологических решений, позволяющий **имитировать когнитивные функции человека** (включая самообучение и поиск решений без заранее заданного алгоритма) и получать при выполнении конкретных задач результаты, сопоставимые, как минимум, с результатами интеллектуальной деятельности человека.



Признаки современных ИИ-систем:

1. **Обучение на данных**
2. **Выявление сложных зависимостей и решение других интеллектуальных задач:**
   - … которые традиционно требовали участия человека;
   - … точное или приближенное решение которых невозможно или чрезмерно трудоемко с помощью арифметических и логических операций



Концепция применения ИИ в задачах АГР

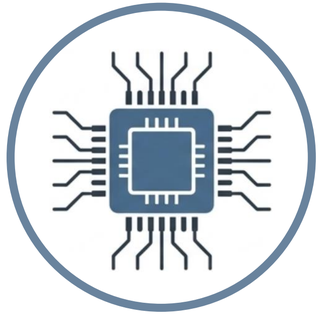
Системы на базе глубокого машинного обучения с нейронными сетями

Входящий поток



Объемы неструктурированной информации и телеметрии в момент аварии

Обработка нейронной сетью



ИИ способен заменить ресурсоемкие системы моделирования и прогнозирования

Скрытая логика



Распознавание образов, анализ текста, прогнозирование, моделирование

Альтернатива сложным расчетным системам в задачах моделирования

Гибридные архитектуры на базе больших языковых моделей

Глубокие нейросетевые модели



Интуитивное понимание текстов и распознавание образов

Формализованные правила и руководящие документы



Следование заданным инструкциям

Объяснимая логика



Контекстно адаптированные рекомендации

Альтернатива человеку в задачах аналитики потоковых данных и принятия решений

Общая концепция АГР, предлагаемая МАГАТЭ

Задача



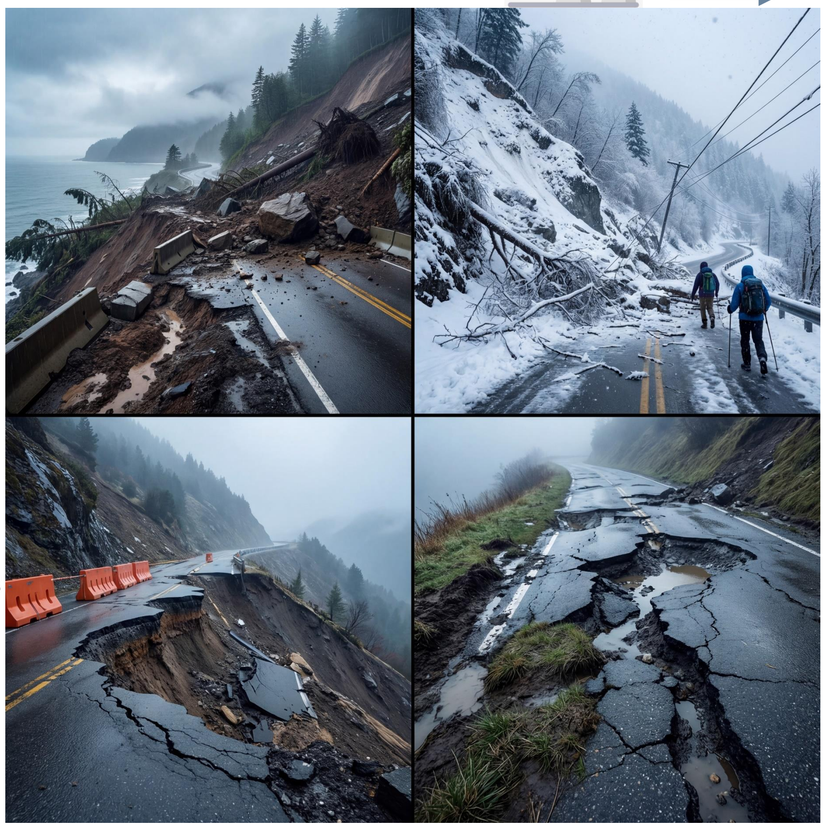
+ Инициирующее событие;
+ Предпосылки развития тяжелой аварии;
+ Необходимо принятие решений о мерах защиты, желательно до выброса;
+ МАГАТЭ дает средние значения расстояний:

Аварийные зоны и расстояния	Предлагаемый максимальный радиус (км) [a, b]	
	≥ 1000 МВт (тепл.)	от 100[c] до 1000 МВт (тепл.)
Зона предупредительных мер (ЗПМ)[d]	3 – 5	
Зона планирования срочных защитных мер (ЗПСМ)[d]	15 – 30	
Расстояние (радиус зоны) расширенного планирования (РРП)	100	50
Расстояние (радиус зоны) планирования мер в отношении продуктов питания и товаров (РППТ)	300	100

Возможны превышения дозовых критериев по уровням:

Детерминированных эффектов

Стохастических эффектов при различных комбинациях мер защиты



Примеры разрушений, связанных с внешними воздействиями

+ Мониторинг -> введение доп. мер;
+ Мониторинг -> снятие мер защиты.

Оценки численности населения

Численность населения (в тыс. чел.) в зависимости от удалённости от АЭС[1]. По данным на 2021 год[2].



АЭС	3 км	5 км	10 км	15 км	30 км	50 км	75 км	100 км
1	0	1,5	2	190	210	300	430	600
2	0	0,3	28	45	170	2000	2400	3000
3	0	6	6	6	6,5	6,5	6,5	6,7
4	0	32	33	34	39	110	190	410
5	0	0	0,8	17	18	110	200	240
6	0	41	46	56	120	660	840	1100
7	0	0	0,09	0,4	15	74	5700	6300
8	0	0	120	130	150	200	980	2000
9	0	32	34	44	84	1400	1600	2100
10	0	0,3	2	3,5	210	260	360	510
11	0	31	34	36	41	150	290	500
12	4	4	4	4	4	4	4	5

1 - Оценка проводилась с учётом центра расселения.

2 - Населённые пункты России: численность населения и географические координаты. Ответственные: В.К. Копыток, А.Е. Румянцева. Электронный ресурс: Инфраструктура данных научных исследований АНО «ЦПУР». Дата обращения: 22.06.2022. (http://www.data-in.ru/data-catalog/datasets/160/)

Для сравнения: в первые дни после аварии из г. Припять и 112 населенных пунктов 30-км зоны было эвакуировано 99 тыс. человек. В последующие месяцы 1986 г. было дополнительно эвакуировано еще 17 тыс. чел. из 74 нас. пунктов.

Модели ИИ для интерполяции и экстраполяции данных мониторинга

Задача 1

+ Оценка источника выброса на основе измеряемых параметров внутри РУ;
+ Обобщение данных и выдача прогноза развития источника выброса на основе данных, заложенных в модель, и результатов измерения.

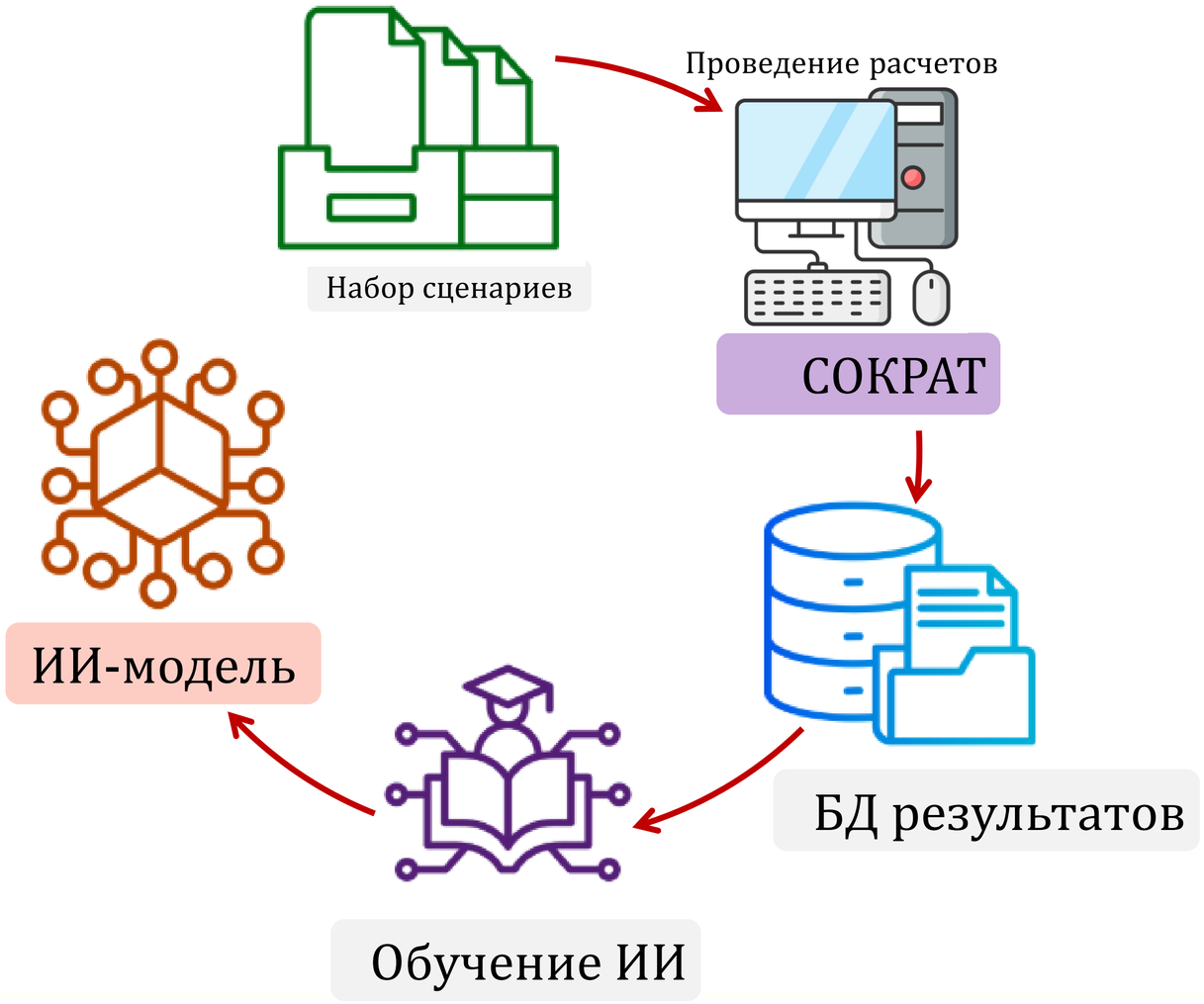
Задача 2

+ Оценка источника на основе измеряемых параметров в окружающей среде;
+ Обобщение данных и выдача возможного источника на основе:

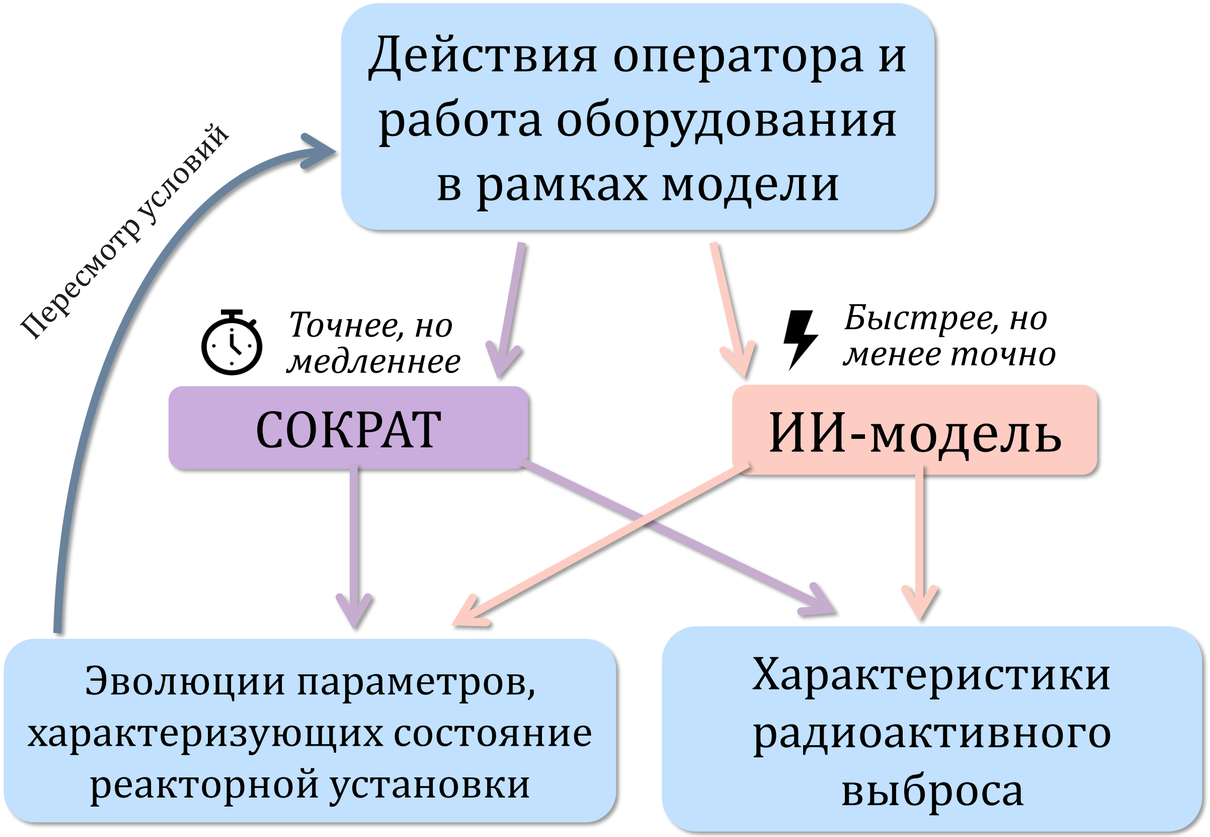
- Метеорологических данных и возможного распространения;
- Данных о погрешности и неопределенности модели;
- Данных о возможных источниках выброса;
- Данных об измерениях параметров радиационной обстановки.

Модель ИИ для оценки источника выброса при ТА на АЭС на основе протекания процессов на АЭС: реализация

Создание



Применение



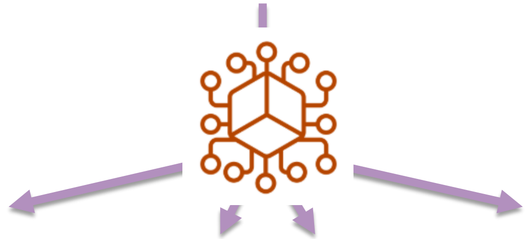
Модель ИИ для оценки источника выброса при ТА на АЭС на основе протекания процессов на АЭС: текущие результаты

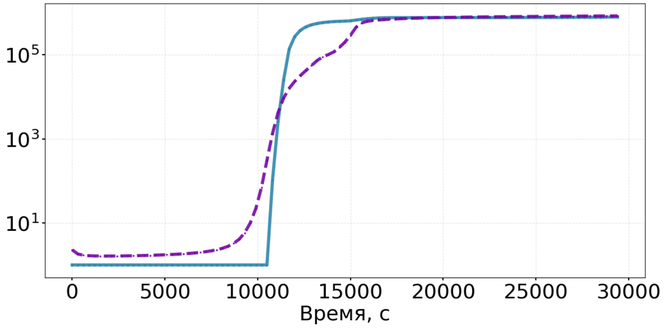
ИБРАЭ

Предложена суррогатная модель ИИ, обученная на результатах кода СОКРАТ

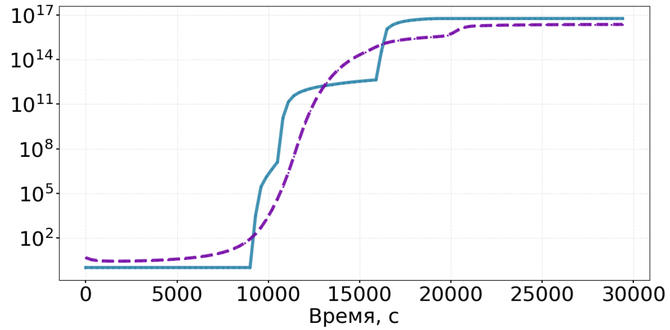
+ Быстродействие (10 секунд vs несколько часов)
+ Измеряемые параметры как исходные данные
+ Прогноз в динамике
+ Возможность анализа гипотез о предполагаемых действиях оператора (вариантный анализ)
+/- Ограниченная выборка для обучения и тестирования (модель на начальной стадии разработки)

Разные варианты действий оператора/работы оборудования

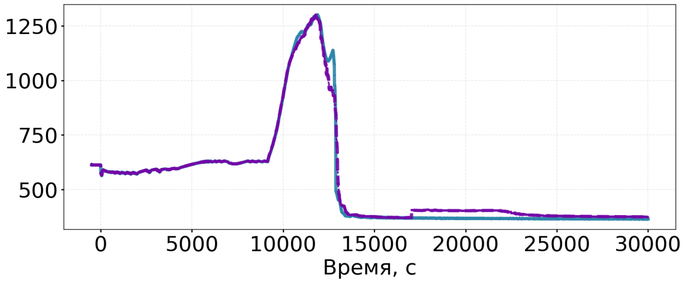




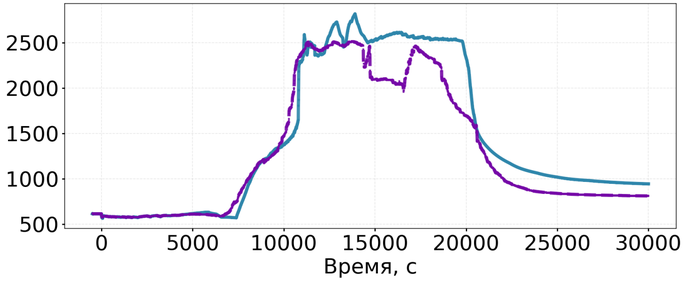
Активность изотопа Cs-137, Бк
(— СОКРАТ, — ИИ модель)



Активность изотопа Cs-137, Бк
(— СОКРАТ, — ИИ модель)



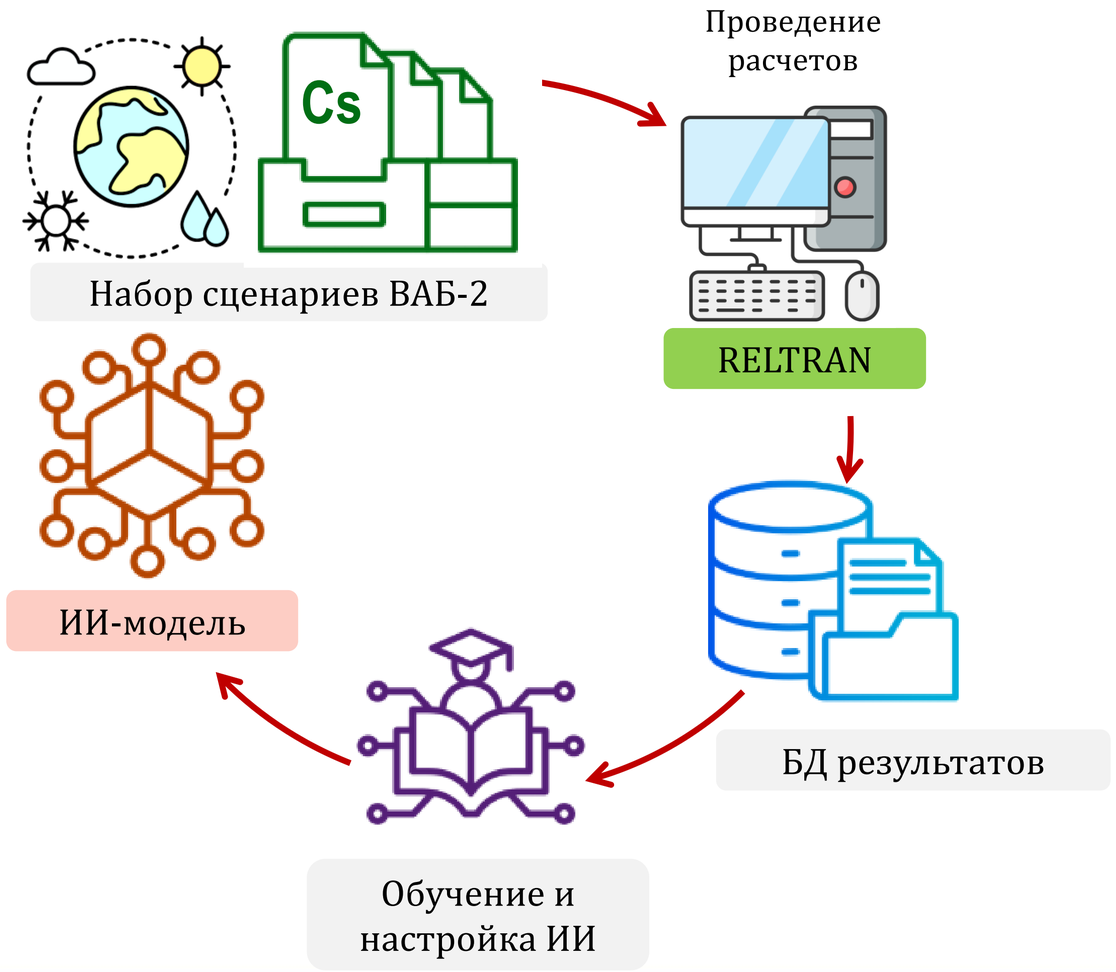
Температура в активной зоне, К
(— СОКРАТ, — ИИ модель)

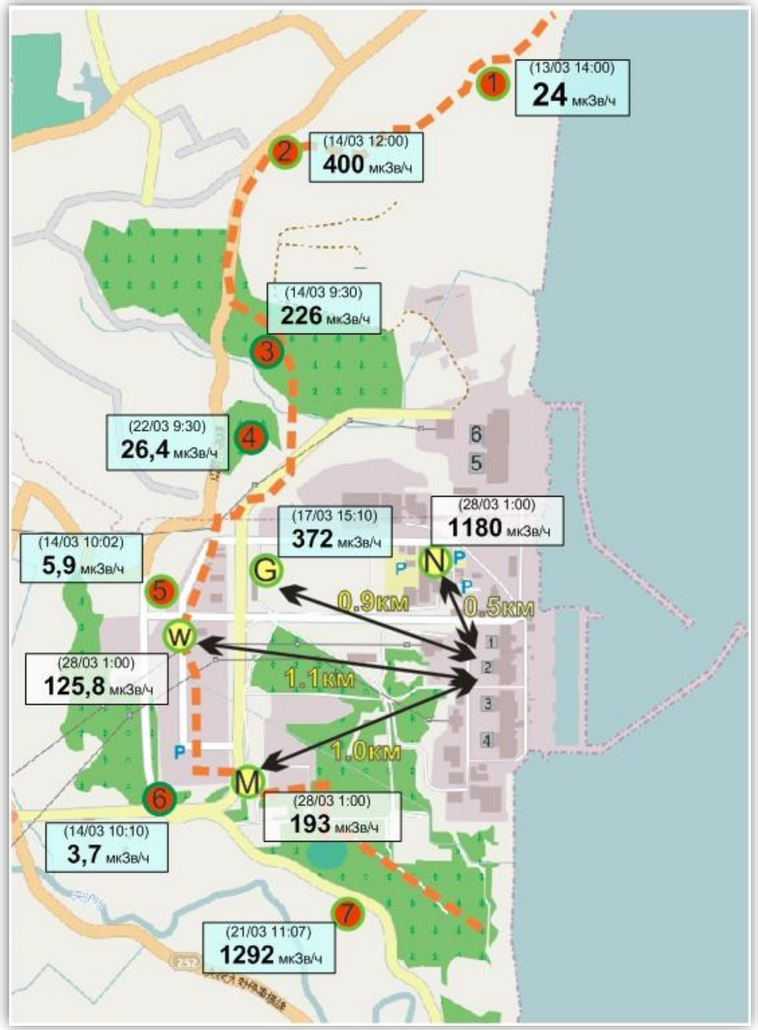


Температура в активной зоне, К
(— СОКРАТ, — ИИ модель)

Модель ИИ для оценки источника выброса при ТА на АЭС на основе измерений рад. обстановки: общая постановка

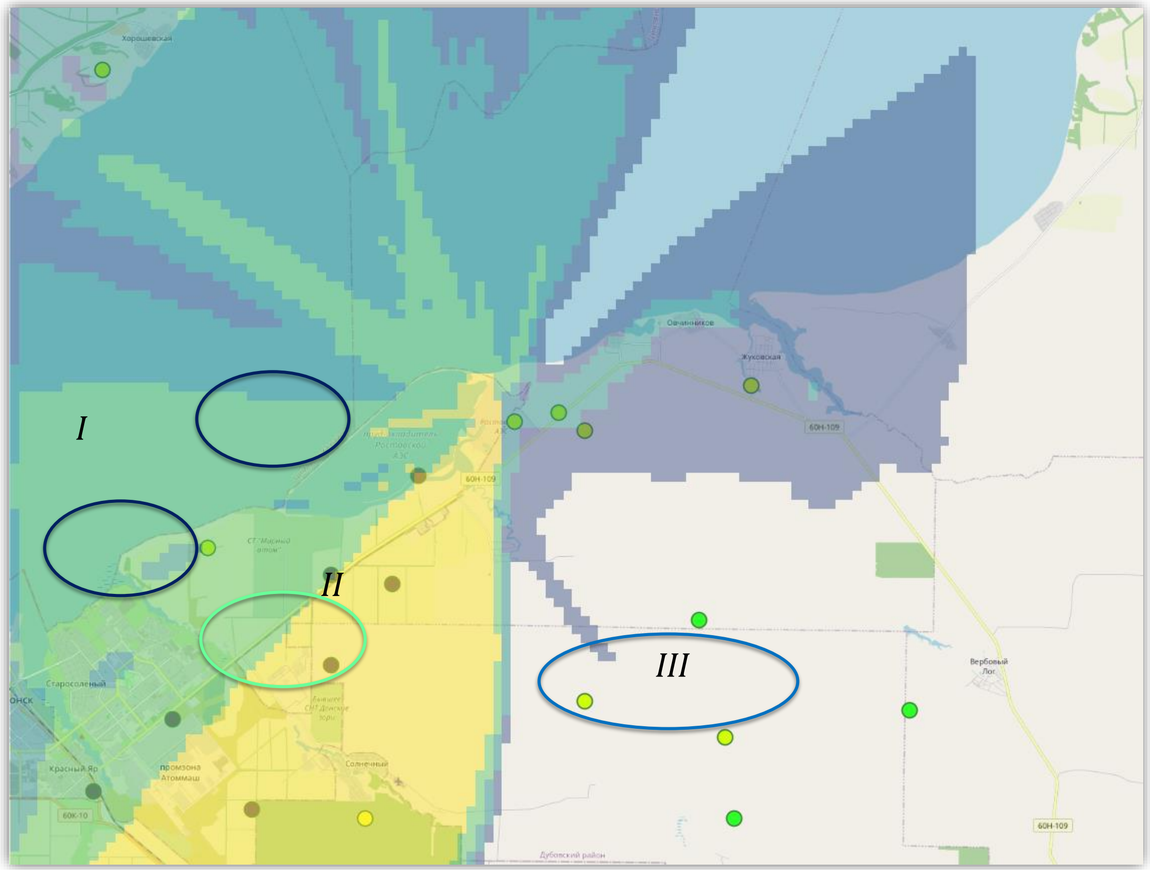
Разработка и создание модели ИИ для реконструкции источника выброса, учитывающей возможные сценарии аварийных выбросов



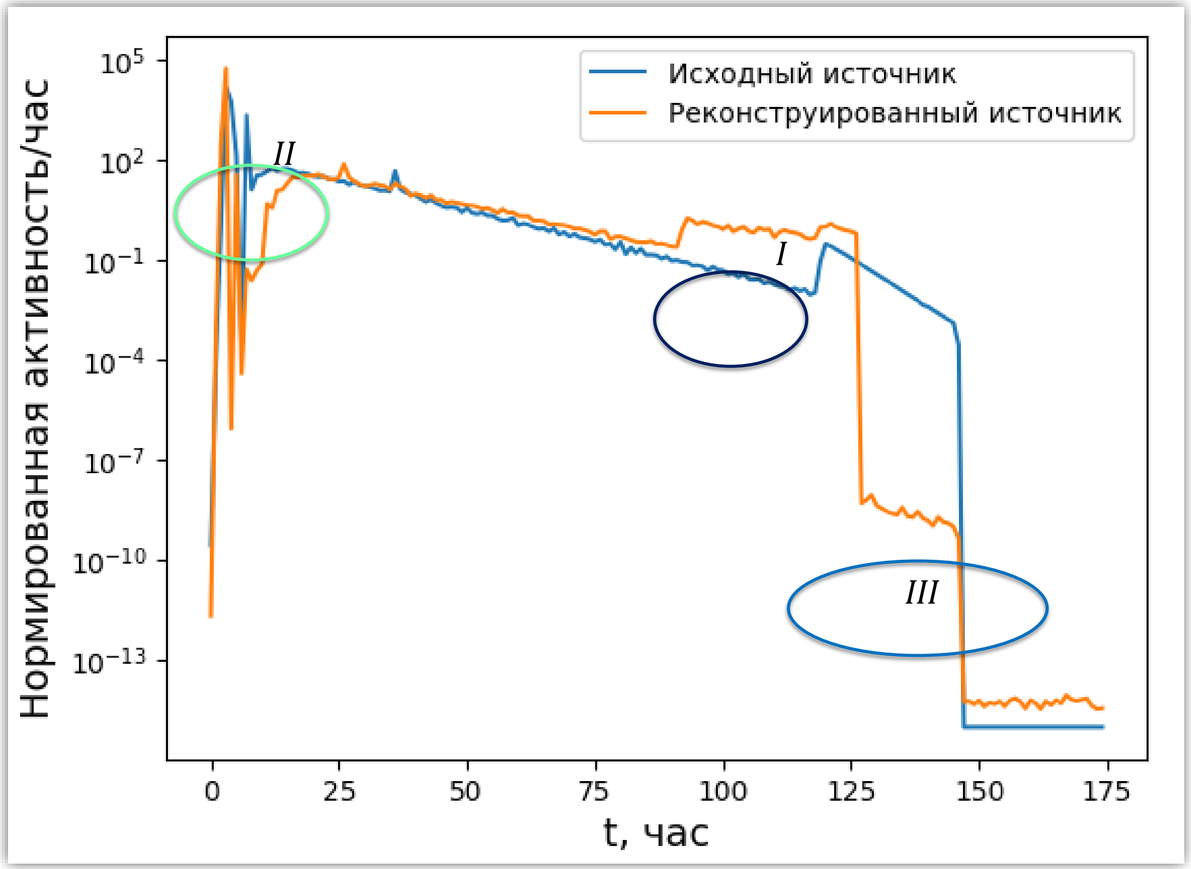


Измерения мощности дозы в различных направлениях от источника выброса после аварии на АЭС «Фукусима-1»

Модель ИИ для оценки источника выброса при ТА на АЭС на основе измерений рад. обстановки: пример реконструкции источника



Модельный расчет и точки с имитацией измерения



Результаты реконструкции источника выброса

I – область с одной точкой измерений, учет неопределенности дает погрешность реконструкции;
II – область оси следа, точек достаточно много; III – чистая область.

МАГАТЭ 2025: перспективы ИИ в сферах АГР и РБ

РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Профилактика и контроль



Непрерывная обработка данных радиационного мониторинга для выявления аномалий и сбоев



Прогнозирование доз облучения персонала и оптимизации дозовых нагрузок



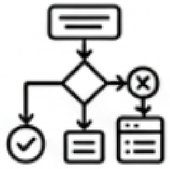
Роботизация и автоматизация для замены людей на опасных участках

АВАРИЙНАЯ ГОТОВНОСТЬ И РЕАГИРОВАНИЕ

Реакция и решения



Выдача рекомендаций операторам по реагированию при аварии на данных о состоянии ЯЭУ и обстановки в помещениях



Обработка текстовой документации, регламентов и планов для выработки рекомендаций для лиц, принимающих решения в стрессовой ситуации

ИИ — мощный и перспективный инструмент обеспечения эффективности в различных направлениях развития атомных технологий

Выгоды внедрения ИИ в сферах АГР

Прогнозирование:
Снижение времени для прогнозирования аварийных сценариев

Адаптивное обучение:
Новые системы обучения персонала и имитационного моделирования сценариев реагирования



Замещение человека:
Использование автономной робототехники и систем наблюдения/контроля на радиационно опасных работах

Выявление аномалий:
Автоматизация обработки разведки, телеметрии и потоков документации

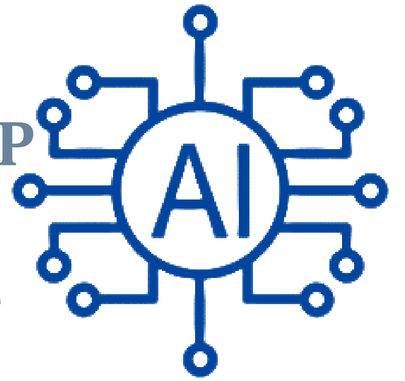
Принятие решений:
Внедрение более надежных методов в системы поддержки

Тезисные выводы

Необходимость внедрения ИИ признана на государственном и международном уровне



ИИ - перспективный инструмент для решения задач в АГР



Темпы развития ИИ чрезвычайно высоки, промедление приведет к технологическому отставанию

Нужен план (программа, дорожная карта…) системного развития и внедрения ИИ в АГР