Институт проблем безопасного
развития атомной энергетики
Российской академии наук
ИБРАЭ

XX Международный ядерный форум
«Безопасность ядерных технологий: аварийная готовность и реагирование»

Перспективные подходы применения моделей атмосферного переноса в арктической зоне при угрозе радиационных аварий на подвижных объектах ядерной техники

Павел Коняев

м.н.с

konyaev@ibrae.ac.ru

7 октября 2026

Введение

ИБРАЭ

Предпосылки

- Сегодня арктический регион активно развивается, Росатом строит плавучие атомные электростанции;
- Как и в случае с любым ядерным объектом, крайне важно обеспечить их безопасность;
- Модели рассеивания в атмосфере при этом могут выступать ключевым инструментом для оценки дозы облучения и планирования действий в чрезвычайных ситуациях.

Плавучие ядерные энергетические установки (ключевые отличия от стационарных объектов):

- Возможное изменение местоположения объекта с течением времени;
- Окружающий ландшафт часто очень неоднороден (особенности рельефа и прибрежные течения).

В настоящем докладе оцениваются следующие задачи обоснования безопасности атомных энергоблоков на плавучей основе с использованием моделей атмосферного рассеяния:



- Оценка доз облучения населения для предполагаемых сценариев чрезвычайных ситуаций;

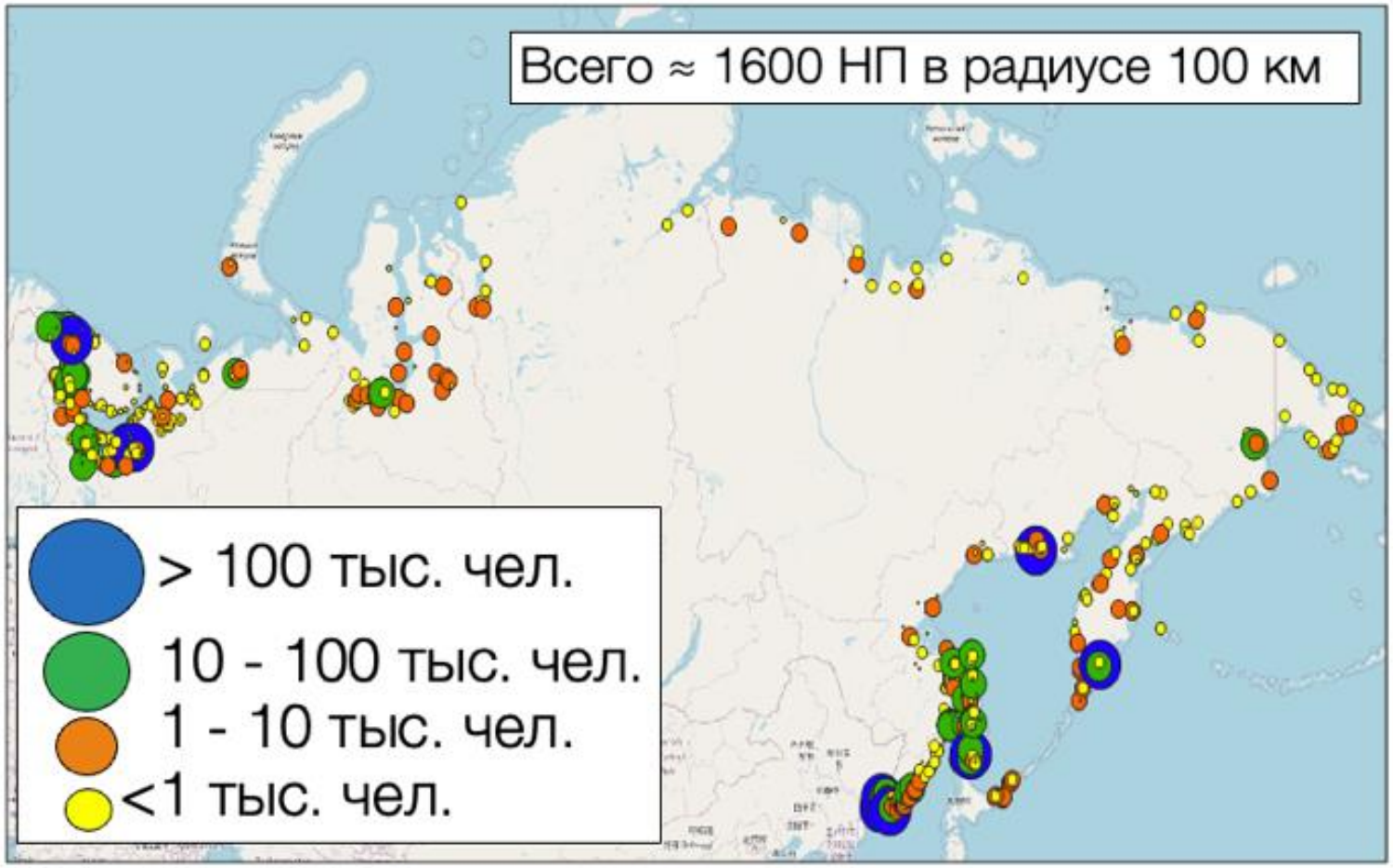


- Проектирование размещения постов автоматизированной системы контроля радиационной обстановки **(АСКРО)**.

Введение: особенности региона

Плавучие ядерные энергоустановки — объекты II категории опасности (согласно ОСПОРБ).
Численность населения в области 30 км от траектории движения судна с ЯЭУ достигает 3 млн. чел.

Население на Северном Морском Пути распределено не равномерно!
Как обеспечить безопасность при угрозе радиационных аварий в таких условиях?



Населенные пункты	Население
Владивосток	700 + тыс. чел.
Архангельск	400 + тыс. чел.
Южно-Сахалинск	200 + тыс. чел.
Северодвинск	200 + тыс. чел.
Находка	150 + тыс. чел.
Магадан	100 + тыс. чел.
Населенные пункты	**Количество НП в области - 30 км**
10 - 100 тыс. чел.	28
1 - 10 тыс. чел.	113
100 – 1000 чел.	234
<100 чел.	348
Всего НП	729

Программное обеспечение

ИБРАЭ

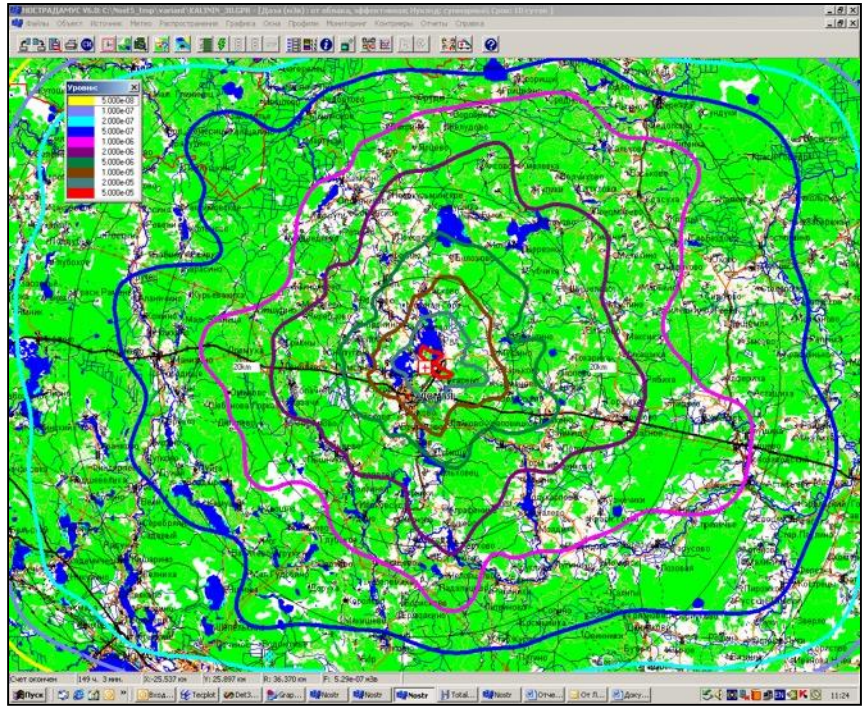
Для решения этой проблемы был использован обновленный код **НОСТРАДАМУС**

Код позволяет решать задачи такого типа:

- **Оценка дозы** облучения от ядерных установок при выбросах РВ в атомсферу;
- Проектирование мест размещения станций системы **радиационного контроля (АСКРО)**.

Модель характеризуется:

- учётом **неопределенности метеорологических** параметров;
- учётом **неопределенности местоположения** источника;
- проверкой в условиях взаимодействия **суши и моря**;
- учётом **влияния топографии** на метеорологические поля;
- взаимодействием с региональной метеорологической моделью **WRF-ARW**.



Пример результатов моделирования

Методы размещения АСКРО и матрица расчетов

ИБРАЭ

Методы размещения АСКРО:

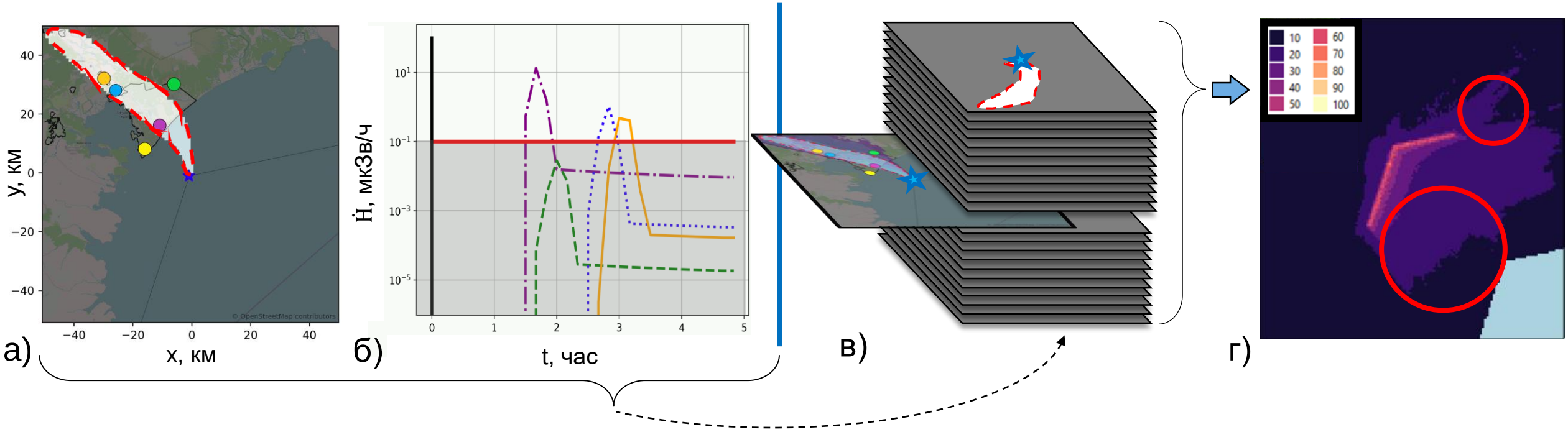
- **Секторный метод** – Датчики размещены в каждом секторе на ближних и дальних расстояниях, а также в точках интереса;
- **Метод плотной расстановки** — равномерное региональное покрытие с гораздо большей плотностью внутри зоны планирования чрезвычайных ситуаций;
- **Предлагаемый метод** – основан на базе статистического анализа траекторий облаков и срабатываний датчиков в условиях метеорологической неопределенности. Датчики размещаются там, где вероятность прохождения радиоактивного облака наиболее высока, что обеспечивает максимальную эффективность для заданного числа датчиков.

Таблица расчётных вариантов:

Название	Территория	Источник	Тип метеорологических данных
K1	Упрощенная	Стационарный	Данные наблюдений
K2	Реальная	Стационарный	Данные наблюдений
K3	Реальная	Стационарный	WRF-ARW
K4	Реальная	Подвижный	WRF-ARW

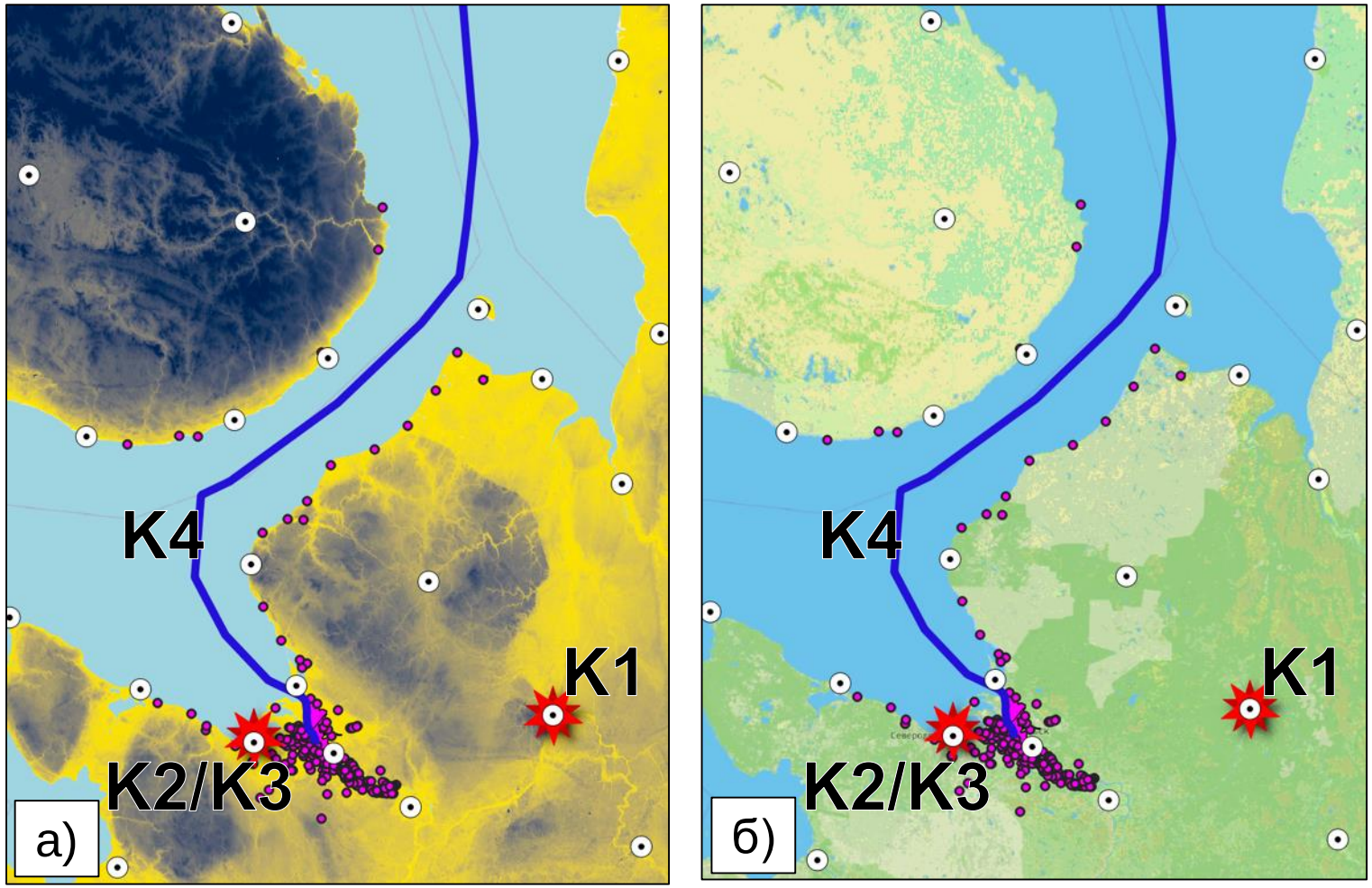
Метод статистической оптимизации

Модель рассчитывает траектории рассеивания облаков и вероятность превышения дозы и пороговой мощности дозы.



Зона превышения порога в 0,1 мкЗв/ч (а) и динамика мощности дозы в точках (б), карты распределения вероятности пороговых значений мощности дозы (в) и схема их расчета (г)

Региональные и метеорологические данные



Карты рельефа (а) и подстилающей поверхности на базе данных MODIS (б)

Метеоданные наблюдений:

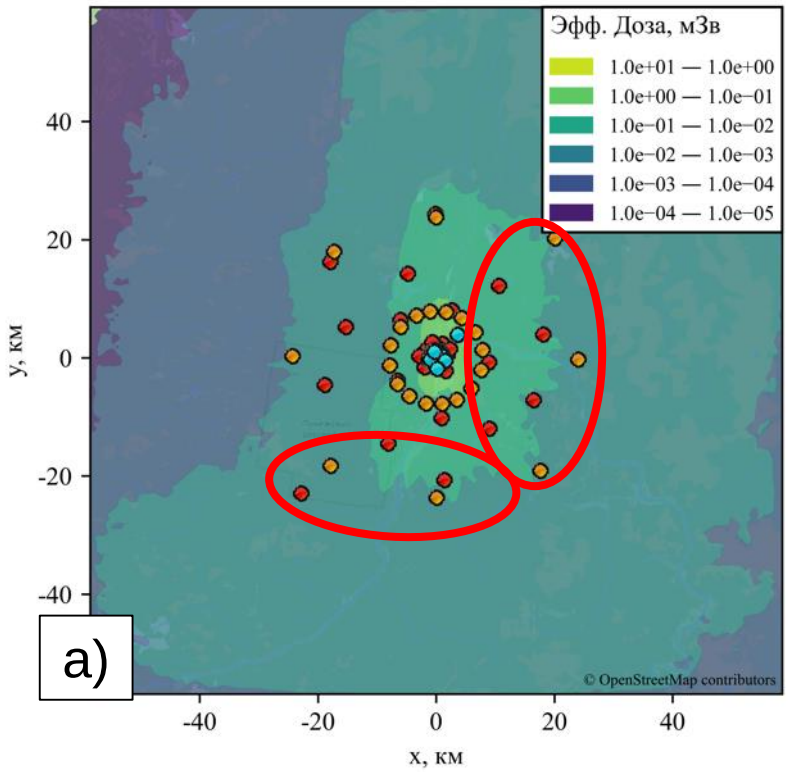
- 22 станции в регионе;
- Данные за год;
- Временное разрешение - 3 часа;
- Разрешение по направлению ветра составляет 10°;

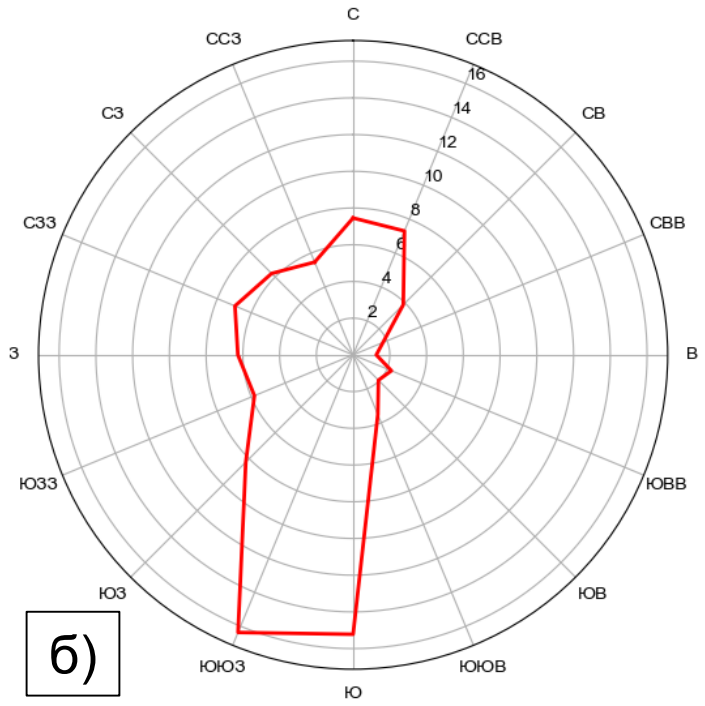
Метеоданные WRF:

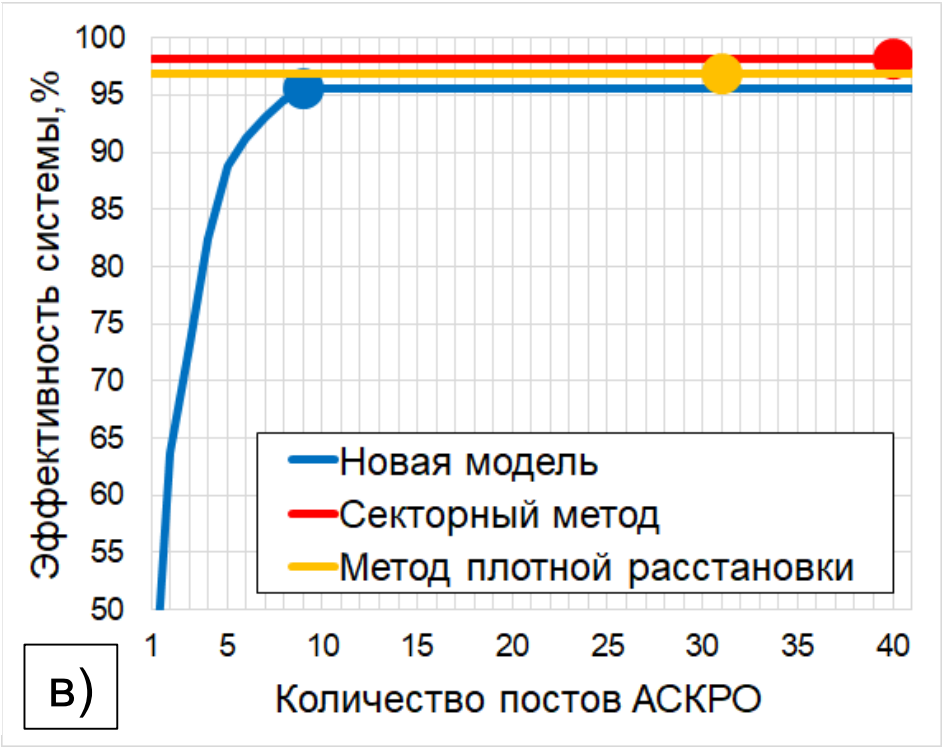
- Данные за тот же год;
- Временное разрешение - 1 час;
- Разрешение по направлению ветра - 0,1°;
- Пространственное разрешение - 9 км;
- Учет рельефа

Результаты [K1]

K1 – однородная территория; метеорологический ряд, основанный на данных метеорологических наблюдений; **объект в стационарном положении.**





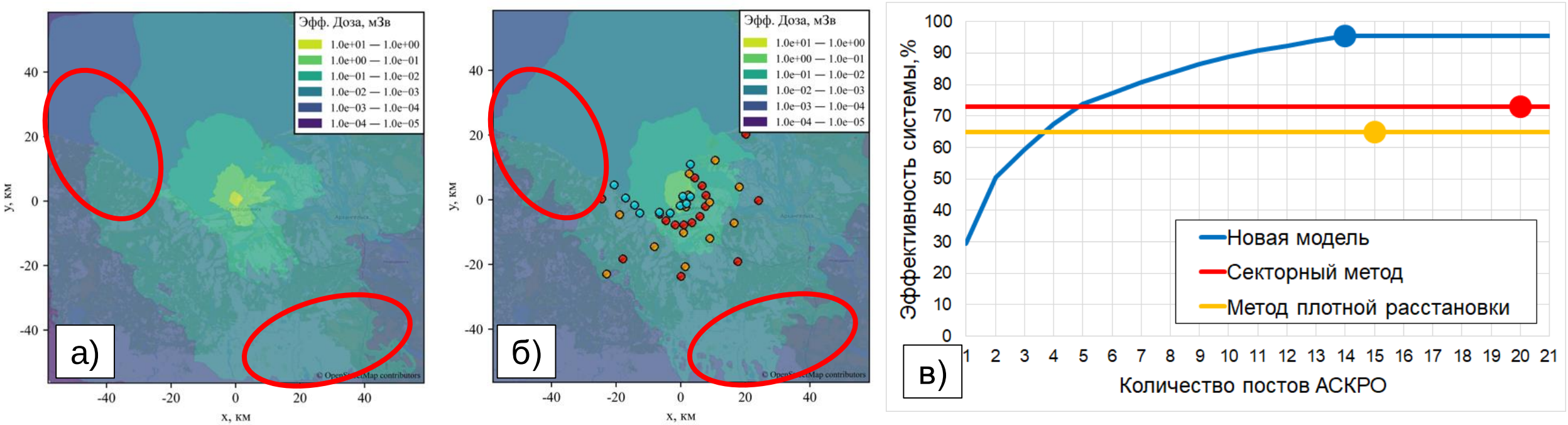


Карта доз с уровнем достоверности 95%, основанная на данных метеорологических наблюдений (а), диаграмме розы ветров (б), графике эффективности АСКРО (в)

Результаты [К2,К3]

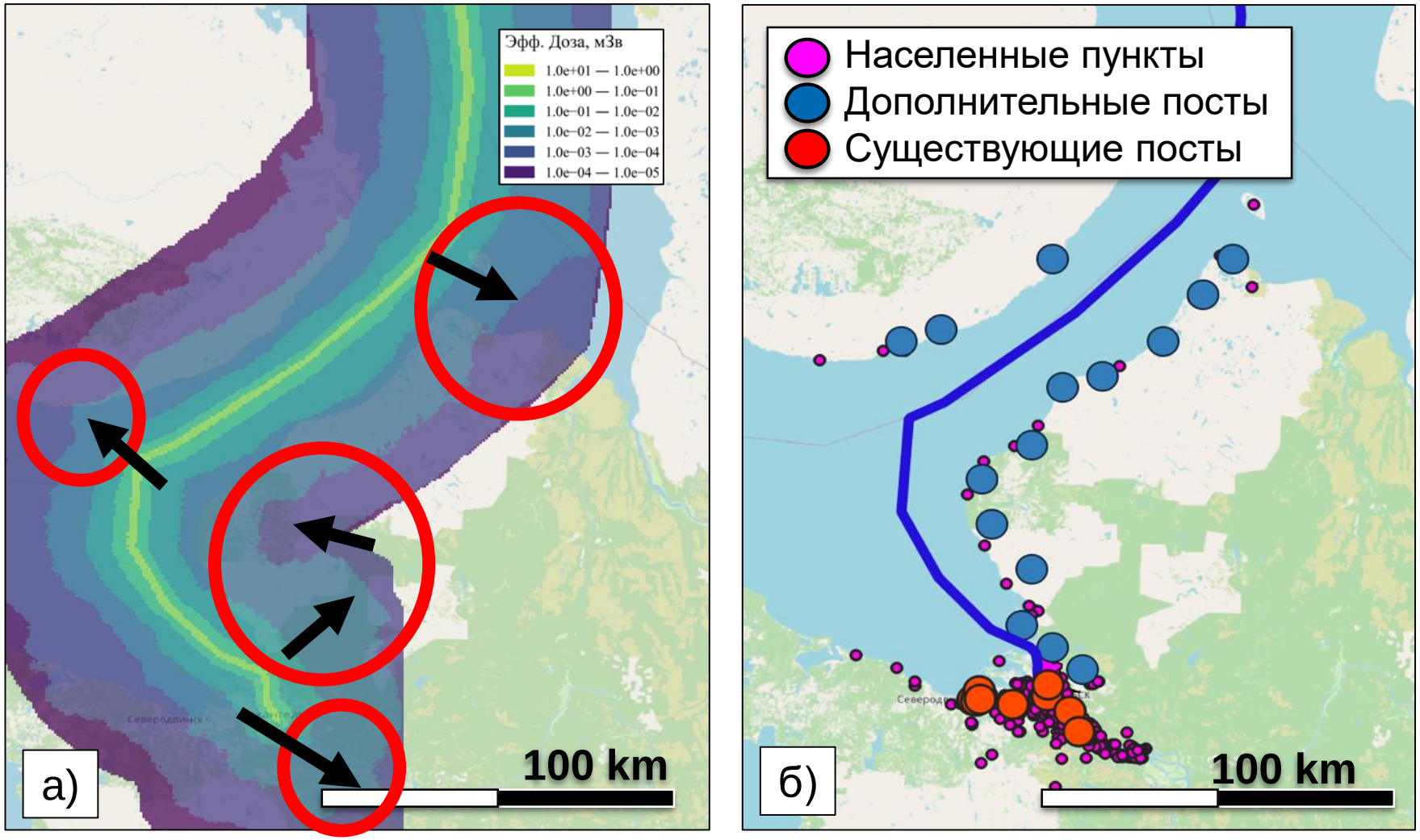
К2 – наиболее вероятное местоположение на траектории **Северного морского пути (СМП)**; метеорологический ряд, основанный на данных метеорологических наблюдений; объект в стационарном положении;

К3 – наиболее вероятное местоположение на траектории **СМП**; метеорологический ряд, построенный с использованием численной модели прогнозирования погоды; объект находится в стационарном положении.



Карта доз с уровнем достоверности 95%, основанная на данных метеорологических наблюдений (а), с использованием численной модели динамики атмосферы (б), график эффективности АСКРО (в)

Результаты [К4]



Предлагаемое размещение АСКРО :

Число постов - 10 **+ 15**

Эффективность - 95%

Картограмма эффективной дозы с уровнем достоверности 95% (а), карта расположения постов АСКРО (б)

Выводы

- **Простой вариант (K1):** все подходы дают одинаковые результаты.

Параметры	Предлагаемый метод	Секторный метод	Плотная система
Эффективность	95	98	97
Число постов	↓ 9	40 ↑	31 ↑

- **Сложный регион (K2, K3):** траектории облаков отклоняются от прямой линии; дополнительные физические процессы (рельеф, неоднородность поверхности) должны быть явно смоделированы.

Параметры	Предлагаемый метод	Секторный метод	Плотная система
Эффективность	↑ 95	73 ↓	65 ↓
Число постов	14	20	15

- **Траектория (K4)** Применение кода **НОСТРАДАМУС** к реальному участку СМП показало, что для повышения эффективности к существующей системе необходимо добавить **15** датчиков **АСКРО**.

Классические методы не подходят для проектирования АСКРО в этом регионе.

Спасибо за внимание

Коняев Павел Андреевич
м.н.с.

E-mail: konyaev@ibrae.ac.ru

07.10.2026