



**РОСАТОМ**

# **Команда «НИИстовые»**

## **Задача 17**

**«Сервис для планирования маршрута  
атомного ледокола по Северному  
морскому пути»**



**Цель работы:** сформировать оптимальное расписание движения судов по СМП, их ледокольного сопровождения и формирования караванов на основе динамических данных о ледовой обстановке.

## Задачи:

- формулирование задачи для оптимизируемого параметра;
- исследование данных и литературы для формирования множества подходов к решению задачи;
- реализация интеллектуального алгоритма распределения ледоколов по доступным заявкам, учитывая динамическое изменение состояние льда;
- разработка архитектуры интеллектуальной системы построения графика движения ледоколов;
- реализация прототипа интеллектуальной системы построения графика движения ледоколов.



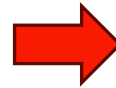


# Проблемы в работе и выгода применения нашего решения

3

## ПРОБЛЕМЫ

- **Отсутствие** оптимального алгоритма формирования графика движения ледоколов
- **Затраты** времени на ежедневное формирование графика движения ледоколов
- **Невозможность** учитывать динамичность изменения льдов при формировании графика движения ледоколов



## РЕЗУЛЬТАТ

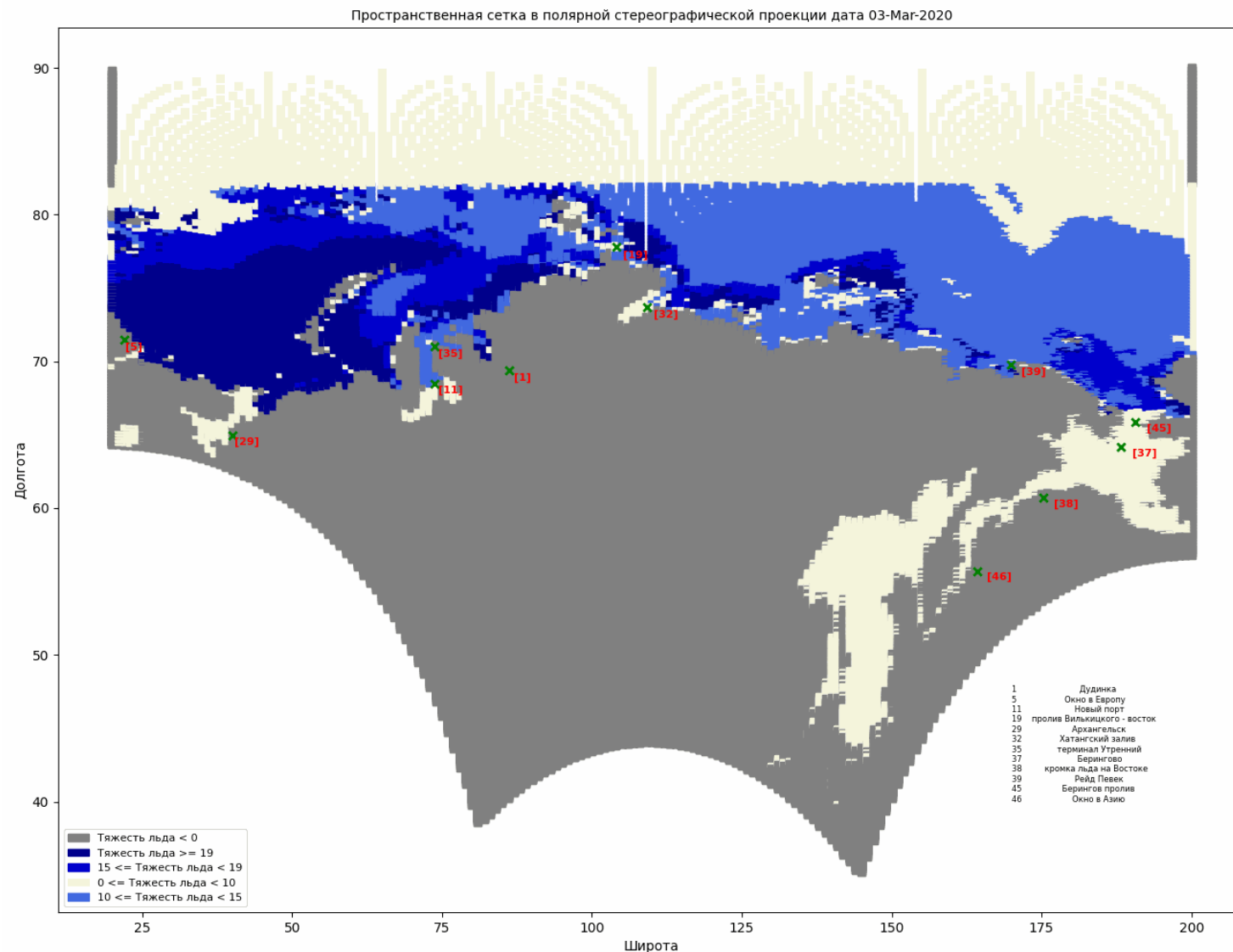
- **Предложен** алгоритм распределения ледоколов, который учитывает динамику изменения льда
- **Оперативный** расчет и визуализация графика работы ледоколов
- **Возможность** перерасчета графика движения ледоколов в зависимости от появившихся заявок



# Исследование и общий анализ данных (EDA)

4

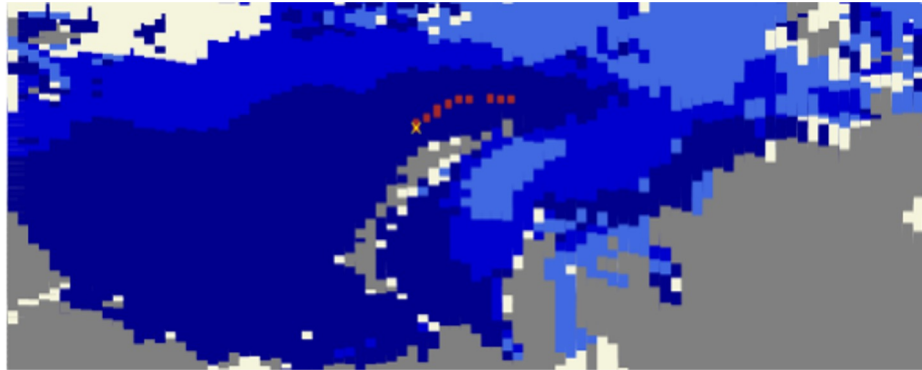
1. Построены пространственные сетки в стереографической проекции со значениями тяжести льда в разные периоды времени.
2. Построены узлы и ребра графа вероятных маршрутов взятых из исторических данных. Построены положения ледоколов и пример маршрута из заявок.
3. При анализе пространственной карты с отображением тяжести льда было замечено, что имеются узлы графа, которые находятся в зонах где тяжесть льда  $< 10$ . По ТЗ данные области непроходимы.



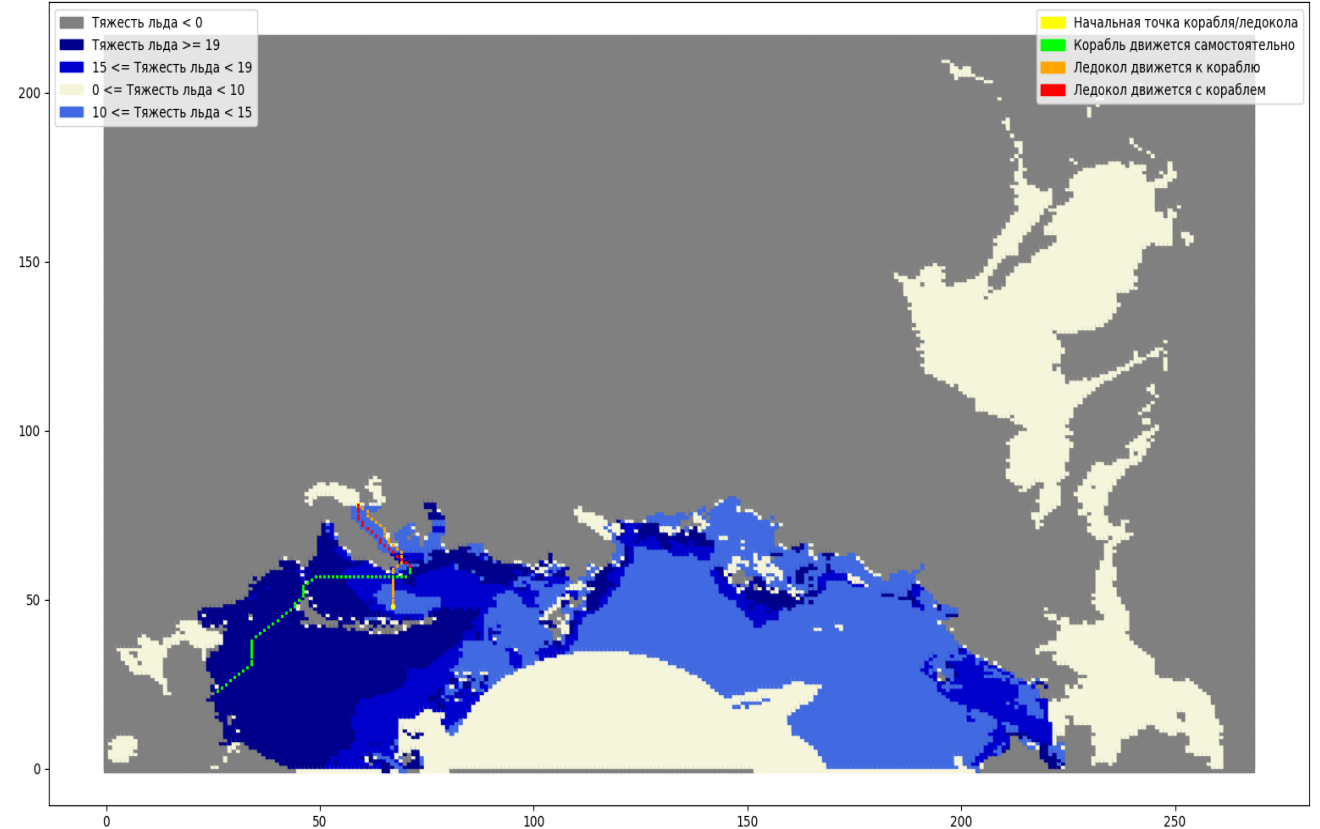


## Пример маршрута в разных представлениях

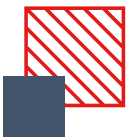
5



Маршрут для первой заявки, корабль - ДЮК II, ледокол - Вайгач



На графиках представлен один и тот же маршрут, но в разных представлениях. На графике с пространственной картой виден отступ между соседними точками, когда как на графике для матрицы все точки являются соседними.



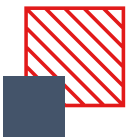
# Общая последовательность шагов для создание расписания работы ледоколов

6

На данной схеме представлена система планирования маршрутов и расписания движения судов по Северному морскому пути (СМП) с учетом состояния льдов и ледоколов.

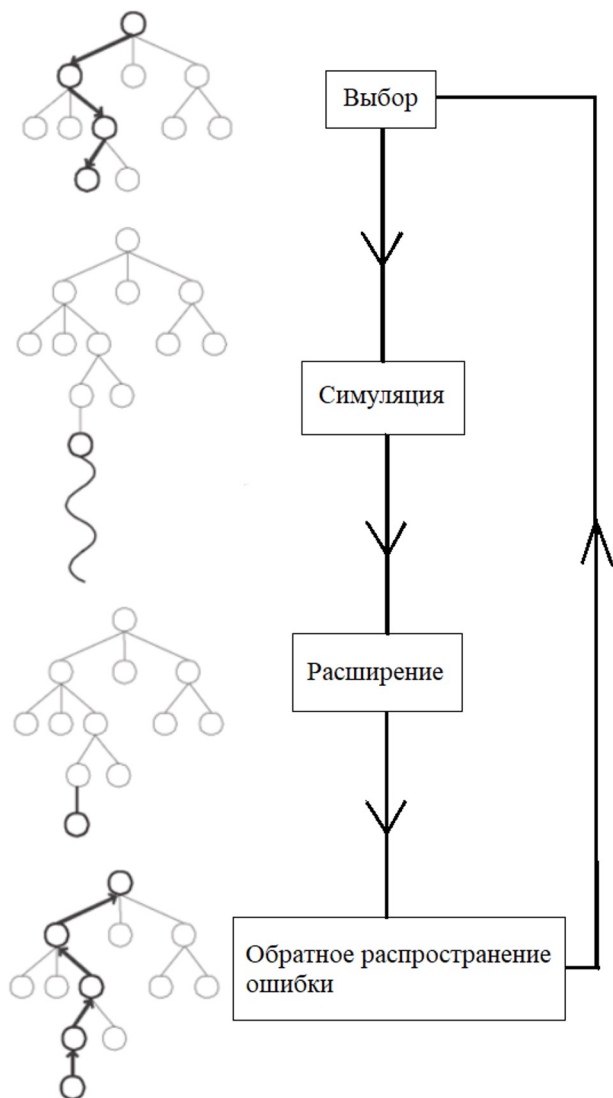
1. Поступающие заявки на плавание собираются и формируют перечень заявок.
2. Информация о состоянии льдов представлена в виде матриц, которые используются для оценки текущих условий льда.
3. Верхнеуровневый граф портов включает географическую информацию о портах и маршрутах, которая используется для построения маршрутов.
4. В качестве алгоритм поиска по ячейкам матрицы льдов используется **алгоритм A\***.
5. В качестве алгоритма составления оптимального расписания движения судов по СМП используется алгоритм **Монте-Карло на решающих деревьях**.
6. Оценивается качество выбора ледоколов для обеспечения эффективного и безопасного сопровождения судов.
7. Все результаты, включая расписание движения ледоколов, сохраняются в базе данных для дальнейшего использования и анализа.





# Алгоритм для составления оптимального расписания движения судов по СМП

7



В основе нашего подхода лежит вариация метода **Монте-Карло** для поиска на **деревьях**, которая представлена в виде игры из четырёх этапов, которые выполняются итеративно.

1. *Этап выбора.* Находясь в вершине  $p$ , выбор следующего узла дерева  $i$  делается из учёта максимизации следующей формулы:

$$v_i + C \times \sqrt{\frac{\ln n_p}{n_i}} + \sqrt{\frac{\sum r^2 - n_i \times v_i^2 + D}{n_i}} \quad (1)$$

где  $n_i$  это количество посещений узла  $i$ ,  $v_i$  – средняя стоимость игры,  $r$  – результат игры на данный момент,  $D$  – константа, которая усиливает значение малопосещаемых вершин.

2. *Этап симуляции* заключается в том, что мы применяем  **$\epsilon$  – жадный алгоритм** для выбора всех следующих ходов до конца игры, которые максимизируют вознаграждение, но с вероятностью  $\epsilon$  производится случайный ход.

3. *Этап расширения.* На этом этапе мы выбираем лучший узел исходя из предыдущего шага, который добавим к финальному дереву.

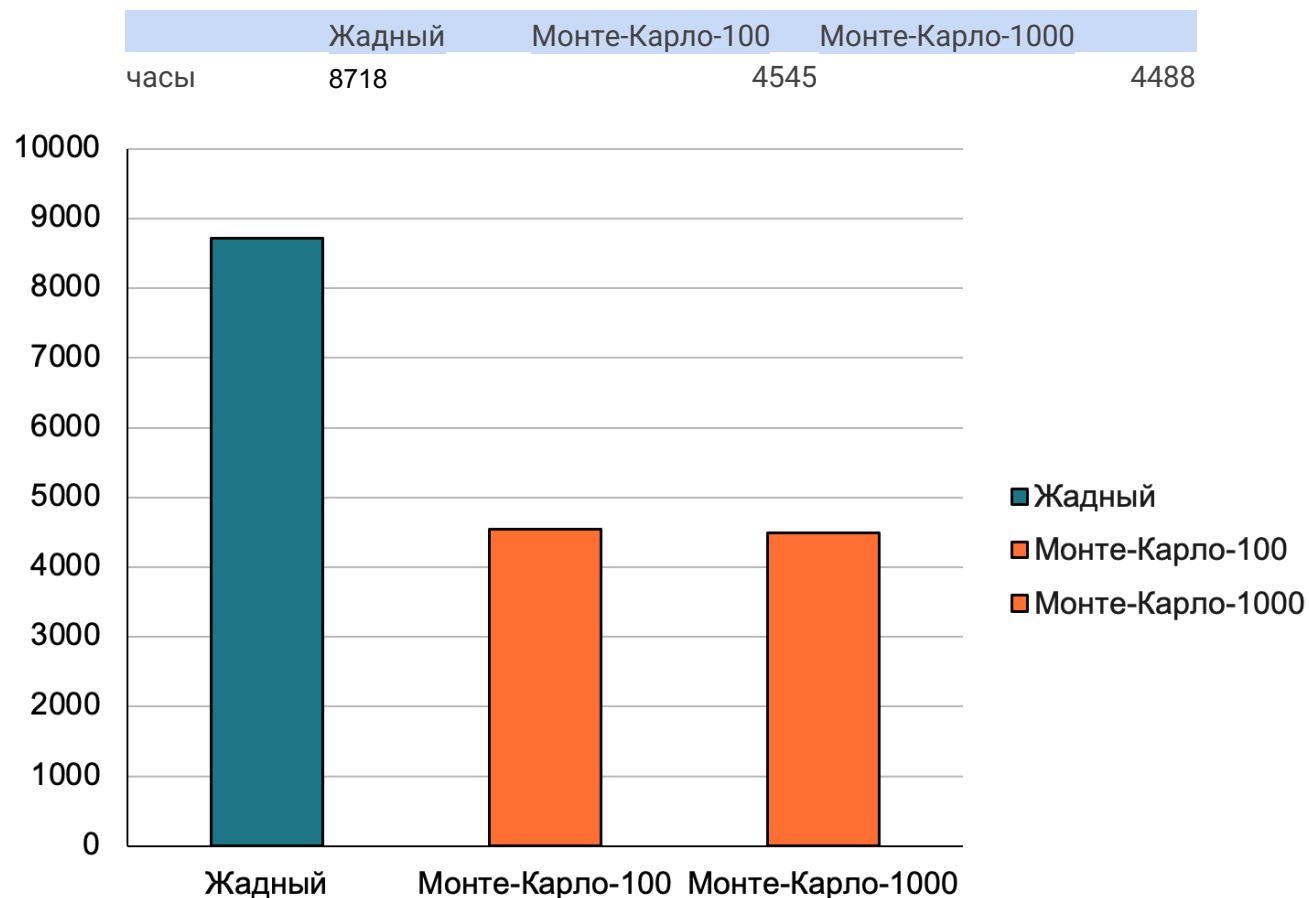
4. *Этап обратного распространения ошибки.* На этом шаге мы обновляем результат игры и её стоимость на основе двух предыдущих этапов до корня нашего дерева.



# Метрика качества работы алгоритма

8

В качестве метрики качества используется **общее время в часах на выполнение всех заявок**. На графике представлено сравнение базового **жадного** подхода и метода **Монте-Карло** на 100 и 1000 итерациях.





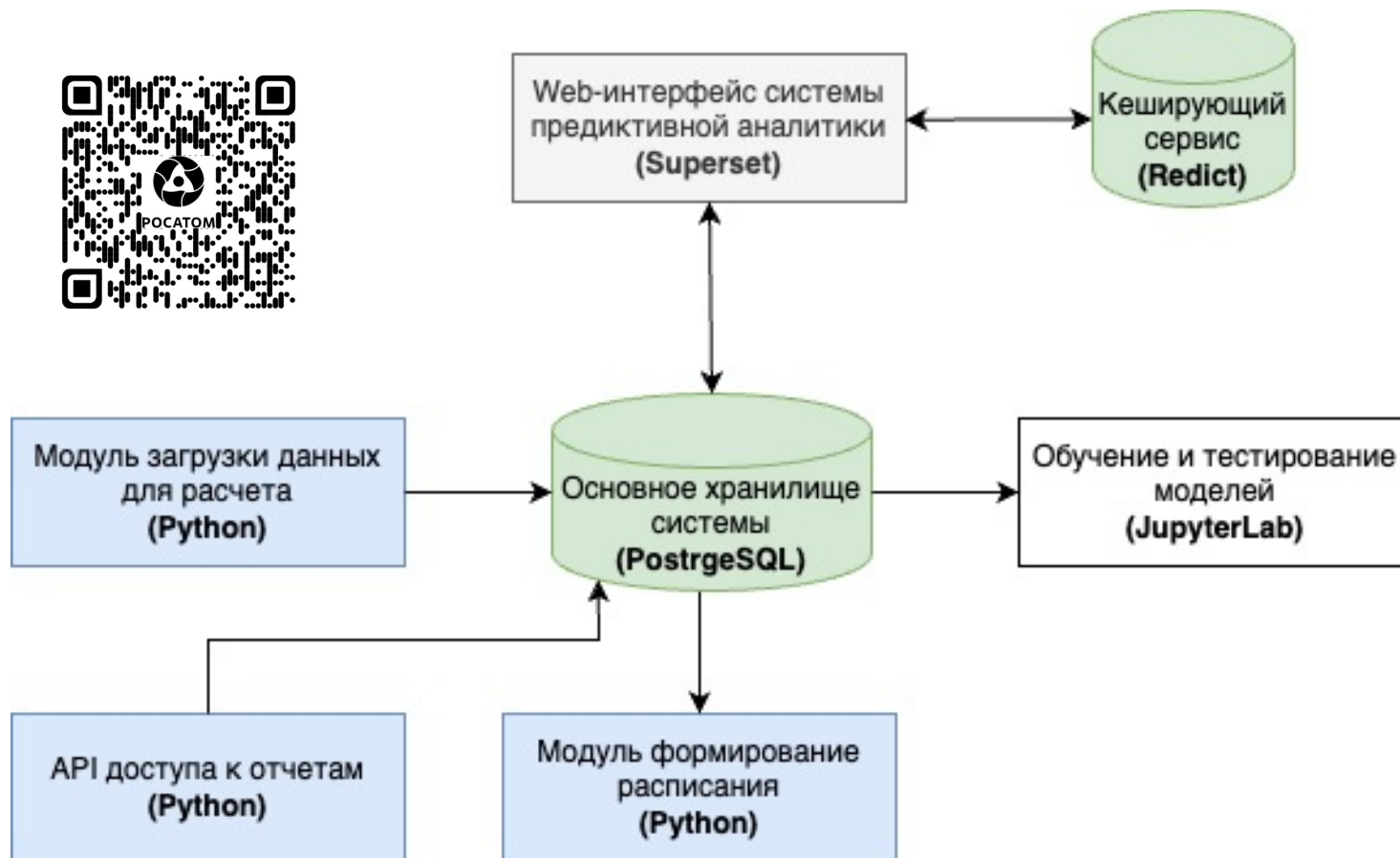


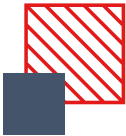
# Функциональная архитектура системы

9

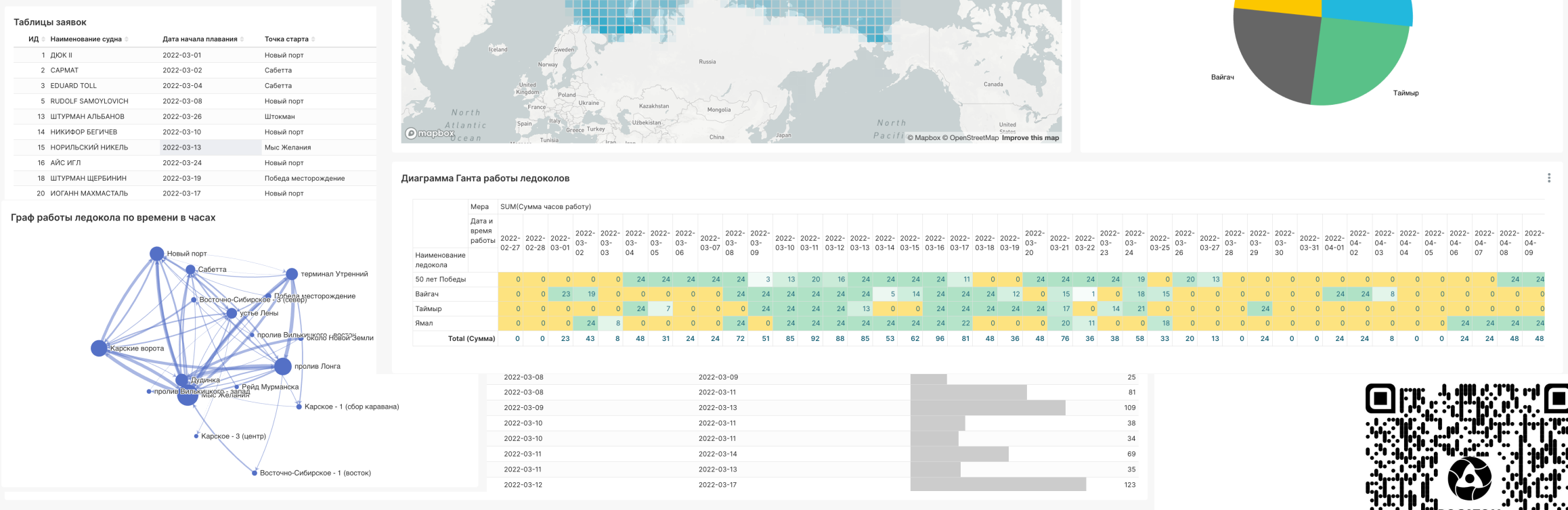
## Технологический стек решения

- Язык программирования: *Python*
- BI-инструмент: *Superset*
- БД: *Postgres* (пользователи *SuperSet*), *Redis* (Кэш)
- Обучение моделей: *JupyterLab*
- Постановка задач в очередь на обработку (*Celery*, *Flower*)





# Пользовательский интерфейс системы



Ссылка на пользовательский интерфейс,  
параметры авторизации в репозитории на **github**





## **В части исследования:**

- Усовершенствование правил игры в части для алгоритма Монте-Карло
- Автоматизация процесса подбора гиперпараметров алгоритма с использованием кросс-энтропии
- Ускорение процессов построение графа возможных переходов для судов

## **В части программного обеспечения:**

- Добавление интеграционных механизмов взаимодействия с другими АСУ
- Автоматизация разворачивания (*CI/CD*)
- Расширение функционала дашбордов
- Добавление функционал добавления льдов



Максим  
Кулагин

- ML-TeamLead
- @maksim\_kulagin
- +7(999)114-50-52



Сергей  
Михайлов

- ML-инженер
- @s\_mikhailov\_1
- +7(926)537-00-37



Герман  
Янченко

- ML-инженер
- @xQQzme
- +7(921)107-36-56



Константин  
Дьячков

- ML-инженер
- @diachkov1415
- +7(981)557-41-40



Алексей  
Трушников

- MLOps
- @Twinshape
- +7(902)269-35-45