

Моделирование поведения нефтяных пятен

Алексей Осипов¹

¹Синкремис

Октябрь 2023

Постановка задачи

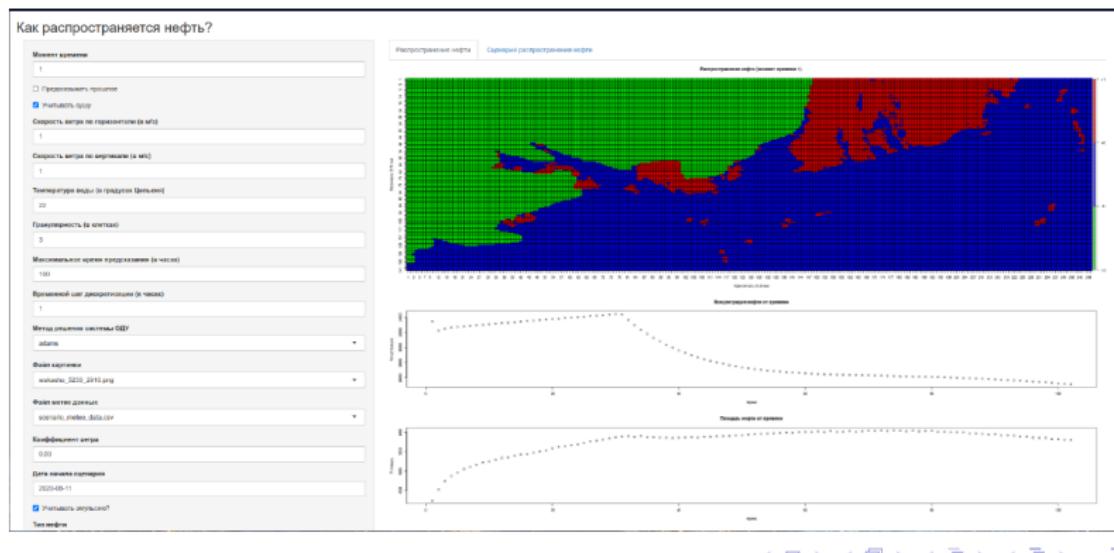
По снимкам высокой точности необходимо предоставить возможность:

- автоматически обнаруживать нефтяные пятна,
- прогнозировать изменение нефтяного пятна со временем,
- моделировать влияние на поведение нефтяного пятна различных параметров,
- прогнозировать прошлое поведение нефтяного пятна.

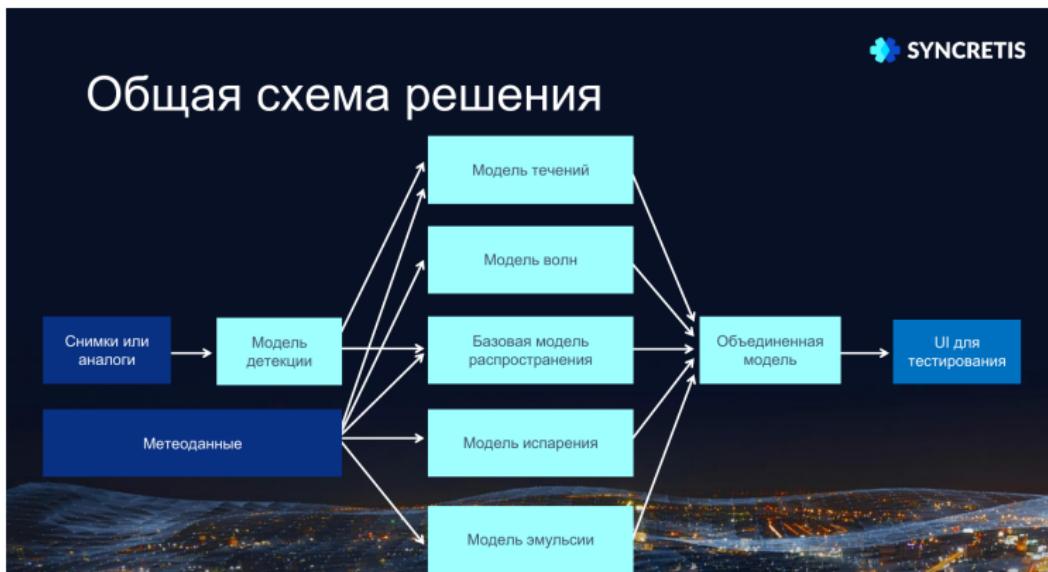


OilSync

- OilSync – ПО для моделирования поведения нефтяных пятен, решающее поставленные задачи,
- регистрация в реестре Российского ПО, реестровая запись №19208 от 23.09.2023



Общая схема решения



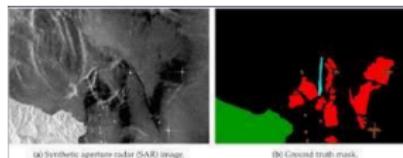
Текущая ситуация

- ① Задача детекции в целом решена.
- ② В задаче распространения нет хорошего решения из-за наличия большого числа факторов
 - есть open-source решения (например, **gnome**, **HyosPy**),
есть закрытые решения,
 - **Эйлерова формулировка**, пятно как единое целое,
 - Лагранжева формулировка, пятно как набор частиц.

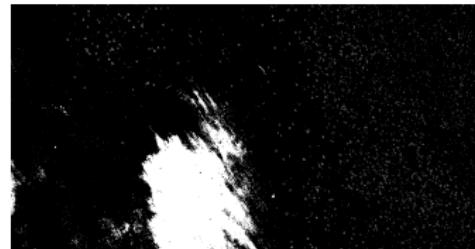


Данные для детекции

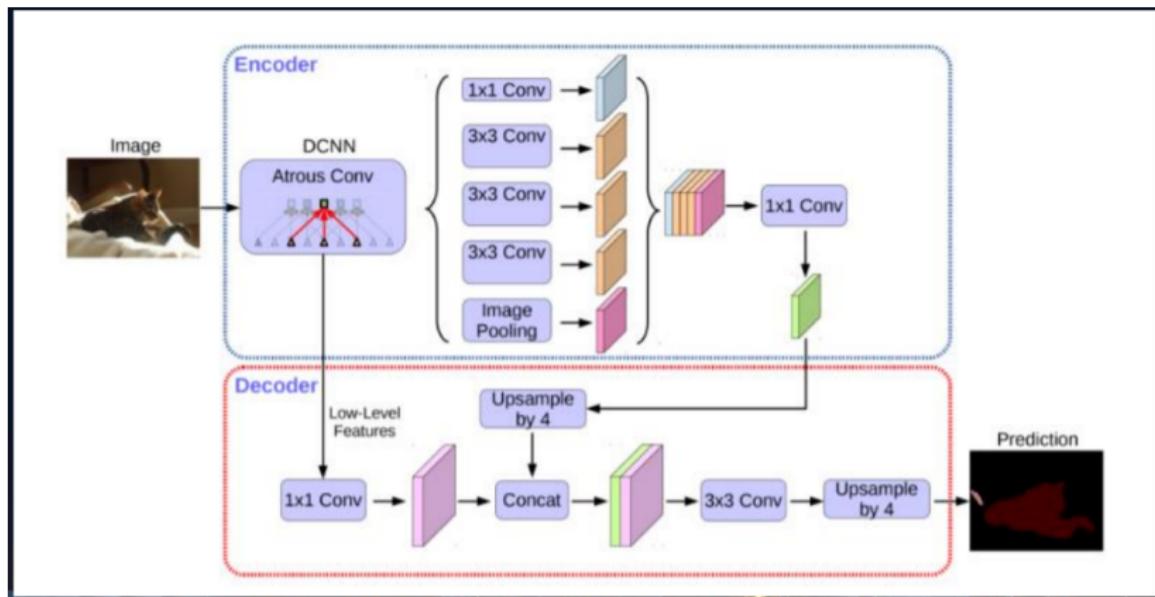
- Датасет для исследовательских учреждений (<https://m4d.iti.gr/oil-spill-detection-dataset/>)



- Датасет Синкремиса: weak labelling (эвристики и кластеризация на данных Maxar)



DeepLabV3+

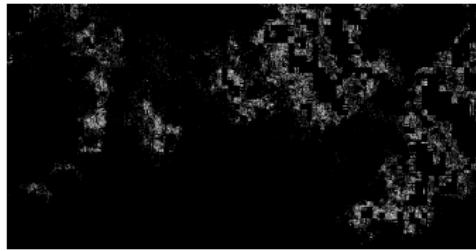


Модель детекции

- Лучшие модели из статей Krestenitis et al:
 - 1 DeepLabV3+ с ResNet101,
 - 2 DeepLabV3+ с MobileNetV2,
 - 3 UNet.
- Модель детекции Синкетиса: DeepLabV3+ с ResNet50,
- Во всех случаях mean IoU порядка 0.65

Название модели.	Mean IoU.
DeepLabV3+ с ResNet50	66.49%
DeepLabV3+ с MobileNetV2	62.81%
UNet	65.32%
Бейзлайн.	38.72%

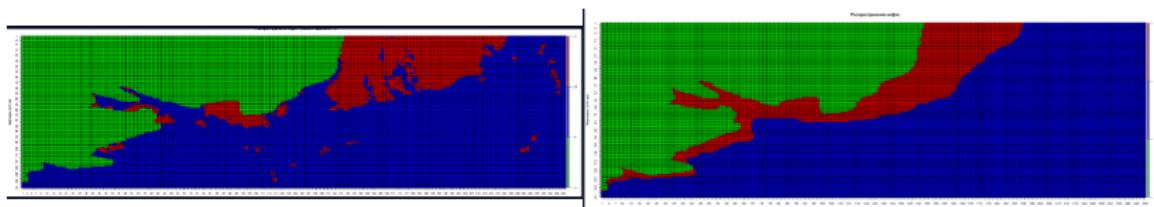
Примеры результатов



Входные данные

- Скорость ветра (вектор).
 - Температура воды (для коэффициента диффузии).
 - Данные о пятне и о суще.
 - Данные о времени.

Динамическая система.



Входные данные

- Уравнение адвекции-диффузии на концентрацию:

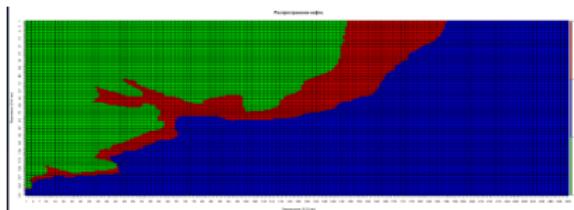
$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \cdot \nabla C = \nabla(k \nabla C),$$

$$k = 0.002 \left(\frac{T}{22} \right)^{1.53}.$$

- Границные условия соответствуют обнаруженному пятну.
- Дискретизация и сведение к системе ОДУ.
- Решения системы ОДУ методом Адамса.
- Модель взята из работы Duran et al.

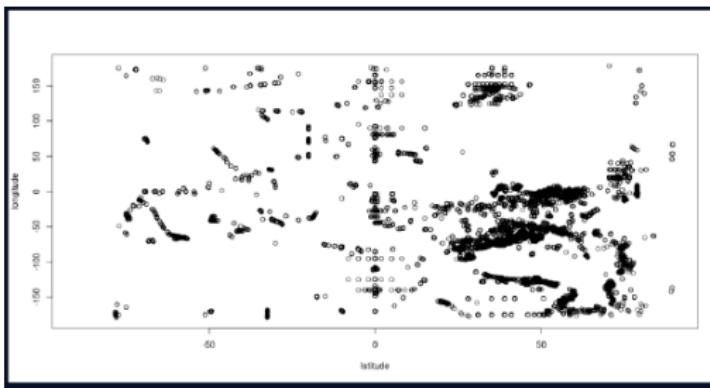
Особенности базовой модели

- Скорость ветра может зависеть от времени и от координаты.
- Учет суши проводится отдельным скриптом.
- Обратная задачи у модели не разрешима, у приближения разрешима.



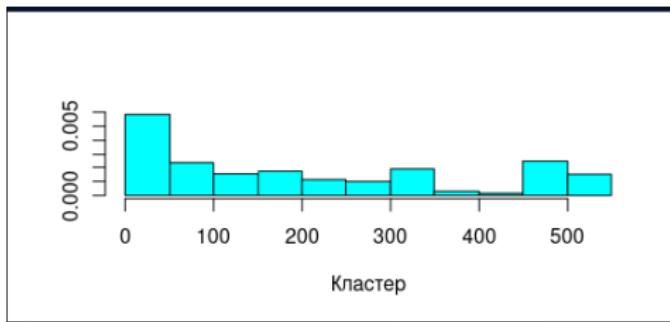
Данные модели течений

- Данные о течениях Woods Hole Oceanographic Institution.
 - Короткие временные ряды.
 - Зависимость от географических координат.
 - Годовая нарезка данных.



Прогноз модели течений

- Компоненты решения: эвристики, HDBSCAN, SMA, EMA, Catboost, VAR.
- Модель: блендинг модели, основывающейся на HDBSCAN, EMA, VAR.
- MAPE порядка 0.45.
- Приближение точки усреднением по кластеру при прогнозировании.



Выбор модели для течений

Название.	SMAPE.
Бейзлайн.	51.17%
Catboost + HDBSCAN + SMA	55.41%
Catboost + HDBSCAN + SMA + корреляция	53.28%
Блендинг бейзлайна и HDBSCAN.	49.17%
EMA	49.38%
Эвристика.	50.46%
SMA	50.37%
Блендинг бейзлайна, HDBSCAN, EMA.	47.99%
VAR	51.29%
Блендинг бейзлайна, HDBSCAN, EMA, Catboost	47.91%
Блендинг бейзлайна, HDBSCAN, EMA, VAR.	46.21%

Модель волн

- Модель Sverdrup, Munk, Bretschneider.
- Эмпирическая модель, основанная на скорости ветра и fetch length:

$$H = 0.283\alpha \frac{W^2}{g} \tanh \left(\frac{0.0125}{\alpha} \left(\frac{gF}{W^2} \right)^{0.42} \right),$$

$$T = 7.54\beta \frac{W}{g} \tanh \left(\frac{0.077}{\beta} \left(\frac{gF}{W^2} \right)^{0.25} \right),$$

$$\alpha = \tanh \left(0.53 \left(\frac{gH}{W^2} \right)^{0.75} \right), \quad \beta = \tanh \left(0.833 \left(\frac{gH}{W^2} \right)^{0.375} \right),$$

где H — высота волны, T — период волны, W — скорость ветра, F — fetch length.

Модель испарения

Модель из работы Fingas:

$$E = KCU^{7/9}d^{-1/9}\text{Sc}^{-r},$$

- K — коэффициент переноса массы,
- C — концентрация нефти,
- U — скорость ветра,
- d — площадь поверхности водоема,
- Sc — число Шмидта,
- r — эмпирическая константа.

Модель эмульсификации

Под эмульсификацией подразумевается смешивание воды и нефти.

Модель из работы Aghajanloo et al:

$$\frac{\partial D}{\partial t} = K (1 + U)^2 \left(\frac{1 - F}{OC} \right),$$

- K — коэффициент эмульсификации,
- U — скорость ветра,
- OC — константа, характеризующая тип нефти.

Модель вертикального транспорта

- Нефть погружается на дно, а потом всплывает.
- Трехмерное обобщение базовой модели.
- Модель взята из работы Aghajanloo et al.
- Проблема с начальными условиями.

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial uC}{\partial x} + \frac{\partial vC}{\partial y} - \frac{\partial wC}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} D_x \frac{\partial C}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} D_y \frac{\partial C}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} D_z \frac{\partial C}{\partial z},$$

где C — концентрация, u, v — скорости, w — скорость всплытия, D_x, D_y, D_z — коэффициенты диффузии.

Особенности

- Наличие индивидуального режима работы и режима сценария с возможностью валидации на исторических событиях.
- Присутствуют модели и детекции, и распространения.
- Модель достаточно сложна и достаточно гибка, в нее можно включать дополнительные факторы.
- Эйлерова формулировка в модели распространения в отличие от формулировки Лагранжа в большинстве других решений.

Спасибо за внимание!

Мои контакты

- мой e-mail: osipovav28@googlemail.com
- моя личная страничка:
<https://sites.google.com/site/osipovav39/>
- репозитории: <https://github.com/AlexO28>

контакты компании Синкремис

- e-mail компании Синкремис: info@syncretis.ru,
- сайт компании Синкремис: <https://syncretis.com/ru>