

УДК 519.6

**ГИБРИДИЗАЦИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ И МЕТОДОВ
МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕШЕНИЯ
ПРОГНОСТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ**

Борисова Ю. И., Никитин Н. О.

**Научный руководитель – к.т.н., Калюжная А.В.
(Университет ИТМО)**

Аннотация.

В работе предлагается подход к повышению эффективности решения прогностических задач за счет гибридизации физической модели океана (используется гидродинамическая модель NEMO 4.0) и моделей машинного обучения, обученных по принципу авторегрессии, а также статистических моделей. В качестве тестового случая выступает задача прогнозирования уровня океана в точках вблизи архипелага Шпицберген.

Введение.

При моделировании процессов, определяющих циркуляцию океанических вод в настоящее время активно используются два подхода. Классические численные модели динамики океана, представляющие с собой совокупность систем дифференциальных уравнений, широко применяются еще с конца прошлого века, они являются в достаточной мере интерпретируемыми и отражают взаимосвязи используемых физических параметров. Однако классические модели требуют достаточно сложного перехода к высокому разрешению для повышения точности. Модели машинного обучения в свою очередь воспроизводят локальные эффекты с меньшими затратами вычислительных ресурсов. Следовательно, в результате гибридизации достигается более высокая точность и низкая ресурсоемкость результирующей модели за счет модели машинного обучения и лучшая интерпретируемость в связи с использованием классической модели на основе уравнений.

Основная часть.

Для экспериментов была выбрана модель динамики (термодинамики) океана NEMO 4.0. - Nucleus for European Modelling of the Ocean, которая включает в себя моделирование показателей воды на разных глубинах, толщины и динамики ледяного покрова, а также гидрохимической динамики и биогеохимических процессов. Помимо большого числа параметров достоинством этой модели является наличие ряда встроенных конфигураций, которые можно использовать в качестве стартовой настройки для тестирования продукта. В рамках данной работы использовалась региональная конфигурация вокруг архипелага Шпицберген SPITZ12 с разрешением $1/12^\circ$ по горизонтали и 75 уровнями по вертикали. Выбор конфигурации обусловлен небольшим территориальным охватом, расчет в рамках которого является более быстрым и менее ресурсозатратным.

За основу для построения одной из гибридных моделей была выбрана статистическая модель ARIMA (autoregressive integrated moving average - интегрированная модель авторегрессии-скользящего среднего). По сравнению с другими методами основным ее преимуществом является отсутствие необходимости большого числа предикторов, так как в случае прогностического моделирования получение оперативной информации по большому числу специфических показателей не представляется возможным.

В качестве данных для сравнения с результатами классической численной модели, статистической модели, а также основы для модели машинного обучения был выбран набор данных, поставляемый Службой мониторинга морской среды Copernicus (CMEMS) и Службой изменения климата Copernicus (C3S) - Sea level daily gridded data for the global ocean from 1993 to present. Данный продукт представляет собой временной ряд высот поверхности моря и производных переменных с координатной сеткой пространственного разрешения 0.25° .

Гибридизация моделей производилась путем построения ансамблевого алгоритма с использованием метода усреднения прогнозов двух моделей. Оценка качества отдельных моделей и гибридного алгоритма была проведена для нескольких тестовых точек южнее архипелага Шпицберген – выбор их территориального расположения обусловлен большей стабильностью данного участка акватории, так как к северу от архипелага протекают воды Гольфстрима.

Выводы.

В ходе проведенных экспериментов были реализованы: модель машинного обучения и статистическая модель для прогнозирования уровня океана. Протестирована работоспособность численной модели NEMO 4.0 для региональной конфигурации, а также оценены значения улучшения качества предсказания, приносимые в исходные модели путем их гибридизации ансамблевым методом.

Борисова Ю. И.(автор)

Калюжная А.В. (научный руководитель)
