

Сведения о выполненных работах
в период с 27.07.2023 г. по 30.06.2024 г.

по проекту **«Анализ большого массива экспериментальных данных лазерного поляризационного и аэрологического зондирования атмосферы с использованием новейших методов машинного обучения»**,
поддержанному Российским научным фондом

Соглашение № 21-72-10089

Руководитель: Кучинская Олеся Ивановна, канд. физ.-мат. наук

Прототип программного продукта представляет собой программное приложение, которое использует алгоритмы машинного обучения для анализа данных метеорологических наблюдений и прогнозирования оптических и геометрических характеристик облаков верхнего яруса (ОВЯ). Прототип может быть использован для тестирования различных моделей и определения наиболее эффективного подхода. Он также может использоваться для демонстрации возможностей готового продукта. Полученный инструмент позволяет предварительно оценить элементы матрицы обратного рассеяния света (МОРС), границы и высоты обнаружения ОВЯ. На данный момент, можно отметить слабую зависимость с метеорологическими характеристиками среды для некоторых параметров ОВЯ. Чтобы однозначно ответить на этот вопрос, необходимо больше данных для уточнения результата и добавление дополнительных сведений об окружающей среде в области проведения эксперимента, что мы планируем реализовать в ближайшем будущем. Анализ полученных результатов показал, что имеется зависимость от метеорологических характеристик у следующих величин: высота центра ОВЯ; диагональные элементы МОРС (m_{22} , m_{33} , m_{44}), при этом МОРС ОВЯ требует дальнейшего изучения и расширения анализируемого массива данных. Для остальных величин наблюдается достаточно большое значение ошибки и на текущий момент дать однозначный ответ невозможно. При этом на результат не влияет выбор способа сжатия данных с целью уменьшения их размерности. Показано, что метод случайного леса с преобразованием признакового пространства показал наилучший результат для элементов m_{22} и m_{44} . Однако для элемента m_{33} лучшим методом оказалась регрессия опорных векторов с ядром радиально-базисной функции и преобразованиями признакового пространства. Отсюда можно сделать предположение, что задачу предсказания элементов МОРС стоит разбить на 3 отдельные задачи регрессии для каждого элемента, т.е. для каждого элемента МОРС использовать свои подходы к оптимизации признакового пространства, а также подбирать наиболее подходящую для этого элемента модель машинного обучения.

Были выявлены и исследованы дополнительные важные закономерности, обнаруженные в процессе выполнения задач проекта. Доказано, что коэффициенты МОРС не зависят от высоты внутри облака, что доказывает его высотную однородность. Данный результат является особенно важным, потому что заведомо известный критерий константности распределений элементов МОРС внутри одного ОВЯ позволяет использовать его как критерий классификации облаков по слоям, в

том числе для спутниковых систем. Это является темой и идеей для реализации отдельного исследования.

Вторым важным установленным фактом является то, что при параллельном способе регистрации лидарных данных были обнаружены два различных по природе сигнала. Предполагается, что эти два сигнала имеют разную природу происхождения. Предположение основано на том, что лучшие предсказания коэффициентов МОРС были получены при применении классификационных алгоритмов, а не регрессионных. Тот факт, что регрессионные алгоритмы уходят в константу, показывает, что, скорее всего, коэффициенты МОРС внутри ОВЯ имеют некоторое общее среднее значение, однако встречаются области неоднородности в которых это значение меняется. Предполагается, что эти области неоднородности и есть зеркальные облака. Поэтому регрессионные алгоритмы не могут определить наличие зависимости при условии что значения постоянны. А вот концентрация областей неоднородности может зависеть от погодных условий. Именно эту зависимость и ловят классификационные алгоритмы. Таким образом, была открыта огромная задача по поиску способа определения концентрации областей неоднородностей при тех или иных входных параметрах программного продукта.

По результатам реализации третьего года проекта было опубликовано: 3 статьи в изданиях, индексируемых в библиографических базах данных Web of Science и/или SCOPUS, при этом в изданиях, входящих во второй квартиль (Q2) – 2 [<https://www.mdpi.com/2076-3417/14/5/1782>]; в изданиях, индексируемых в библиографической базе данных RSCI – 1; 2 публикации в трудах международных конференций. Результаты работ по гранту представлены в 6 докладах на конференциях и 2 раза освещены в публикациях СМИ. Получено 2 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ. Организован и проведен Конкурс по машинному обучению «Методы машинного обучения в решении задач атмосферной оптики» (использована маркированная база данных, созданная в рамках текущего проекта) [<https://news.tsu.ru/news/ne-letay-v-oblakakh-analiziruy-tgu-provel-konkurs-po-mashinnomu-obucheniyu/>].

Возможность практического использования результатов проекта:

Разработка критериев обнаружения ОВЯ наземными лидарами, а также определение оптических, микрофизических и геометрических характеристик ОВЯ на основе информации о метеорологической обстановке, понимание природы их формирования и эволюции откроет сразу несколько дополнительных тематик научных исследований в интересах прогноза погоды и климата, а также позволит расширить существующие:

- дистанционное обнаружение и мониторинг в атмосферном воздухе частиц аэрозоля несферической формы с различными показателями преломления, необходимые для решения ряда научно-исследовательских задач (в частности, для изучения влияния их свойств на климат);

- контроль аэрозольных выбросов промышленных предприятий (для государственного экологического надзора);

- обнаружение и мониторинг зеркальных ОВЯ естественного и антропогенного происхождения с целью уточнения оптических моделей для расчета радиационного баланса (для повышения точности прогнозирования погоды и климата).

В качестве примера, иллюстрирующего запрос на повышение точности прогнозов погоды и климата, приведем сельское хозяйство. Точность прогнозов непосредственно влияет на рациональное использование ресурсов и, как следствие, на объем получаемой продукции. Более эффективное планирование позволит оптимизировать производственные процессы и повысить экономический выход.

Помимо влияния на атмосферные процессы, находящие своё отражение в климатических и погодных явлениях, свойства ОВЯ, включая зеркальность (преимущественно горизонтальную ориентацию несферических ледяных частиц, приводящую к аномальному обратному рассеянию излучения такими облаками), необходимо учитывать при решении ряда технических проблем. К таковым относится задача передачи информации и энергии в атмосфере. Применение лидара и спутника для совместных работ позволит изучить влияние зеркальных облаков при их наличии в атмосфере на техническую возможность установления оптической связи и передачи энергии оптическим излучением.

Информация об оптических и микрофизических характеристиках атмосферы, получаемая на лидаре НИ ТГУ, дополненная информацией со спутниковых радиометров и метеорологической обстановкой на различных высотах, востребована в ряде научно-исследовательских организаций, занимающихся исследованиями атмосферы и тенденций изменений климата: Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, НПО «Тайфун» Росгидромета, ЦАО Росгидромета, Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, Институт климатических и экологических систем СО РАН, Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля, Институт лазерной физики СО РАН и др.