Цикл научных работ молодых ученых на конкурс 2026 г.

1. **Автор:** С.А. Воскресенская
2. **Название цикла:** Создание и исследование свойств каталога скоплений галактик ComPACT на основе методов глубокого обучения и микроволновых данных ACT+Planck
3. **Публикации**
   a. Voskresenskaia S., Meshcheryakov A., Lyskova N. «ComPACT: combined Atacama Cosmology Telescope + Planck galaxy cluster catalogue» // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society (MNRAS). 2024. Vol. 531, Iss. 1. P. 1998–2010. DOI: 10.1093/mnras/stae1269.
   b. Voskresenskaia S., Lyskova N., Zaznobin I., Meshcheryakov A. «ComPACT: Mass-redshift properties of the galaxy cluster catalogue» // Astronomy & Astrophysics (A&A). 2026. Vol. 711. A144. P. 1–12. DOI: 10.1051/0004-6361/202659201.

   Данные публикации на конкурс научных работ ИКИ ранее не подавались
4. **Общая формулировка научной проблемы и ее актуальность**
   Скопления галактик – крупнейшие гравитационно связанные структуры во Вселенной, служащие инструментом космологии и изучения эволюции крупномасштабной структуры.
   Тепловой эффект Сюняева — Зельдовича (tSZ), возникающий при обратном комптоновском рассеянии фотонов реликтового излучения на электронах горячего газа скоплений, обладает фундаментальным преимуществом: его поверхностная яркость не зависит от красного смещения. Это делает наблюдения в миллиметровом диапазоне мощнейшим инструментом для построения выборок скоплений, практически не ограниченных по z и однородных по массе. Однако классические методы обнаружения (в частности, согласованная фильтрация) опираются на аналитические профили фиксированной геометрии, из-за чего теряют чувствительность при низких отношениях сигнал/шум и при наличии морфологических особенностей у объектов.
   В связи с этим разработка новых подходов на базе методов глубокого машинного обучения, способных извлекать нелинейные пространственно-частотные признаки из многоволновых микроволновых карт, а также последующая физическая верификация кандидатов (определение их красных смещений и масс) представляют собой актуальные задачи современной наблюдательной астрофизики и космологии.
5. **Решаемая задача, ее научная значимость, используемый подход и его новизна:**
   В представленном цикле работ решается задача построения и физического исследования каталога скоплений галактик ComPACT на площади около 18 000 deg² с использованием микроволновых карт обсерватории ACT и космического телескопа Planck (90, 150 и 220 ГГц). Основная цель заключается в обнаружении скоплений, находящихся ниже порогов детектирования стандартных каталогов

(ACT DR5 и PSZ2), определении их расстояний и масс, а также детальном исследовании функции отбора и полноты полученной выборки.
Методическая новизна работы состоит в переходе от классической фильтрации с заданными радиальными шаблонами к попиксельной вероятностной сегментации tSZ-сигнала. В отличие от существующих алгоритмов (таких как U-Net с априорными масками), была спроектирована сверточная нейросетевая архитектура классификации, обученная на выборке из скоплений ACT DR5, точечных радиоисточниках (АЯГ, пылевые галактики) и случайных пустых полях. Попиксельное применение обученной модели к картам ACT+Planck позволило сформировать карту вероятности tSZ-сигнала. Для выделения объектов был разработан морфологический критерий, отбирающий связные области пикселей по площади ($S > 20$) и пиковой вероятности ($p_{max} > 0.8$), что позволило отсеять точечные радиоисточники и ввести классификацию надежности кандидатов. Разработанный алгоритм был применен к выборке кандидатов низкого уровня значимости Planck (SZcat) в зоне покрытия ACT. Это позволило объединить высокую чувствительность телескопа Planck к протяженным структурам с высоким угловым разрешением ACT, существенно подняв чистоту выборки (с 22% в SZcat до 74–84% в ComPACT). Для подтверждения кандидатов применялись фотометрические алгоритмы определения красных смещений (zCluster и Zaznobin) и кросс-отождествление с спектроскопическими данными. Также выполнен расчет масс M_{500c} с использованием объединенных карт параметра комптонизации (ACT+Planck и Planck).
Кроме того, было проведено численное моделирование полноты каталога в плоскости (M_{500c}, z) путем инжекции синтетических gNFW-скоплений в реальные микроволновые карты.
Практическая значимость работы заключается в нахождении новых далеких и массивных скоплений галактик, а также в демонстрации эффективности нейросетевых подходов при поиске астрофизических объектов.

6. Полученные результаты и их значимость

- Построен каталог ComPACT, содержащий 2962 кандидата в скопления галактик на площади ~18 000 deg². Чистота каталога оценена в диапазоне от 74% до 84%.
- Каталог содержит более 977 новых скоплений по сравнению с данными ACT DR5 и PSZ2. В результате кросс-корреляции с рентгеновскими, микроволновыми и инфракрасными обзорами подтверждено около 1659 объекта.
- Определены красные смещения для 1771 скоплений (60%) в интервале $0.007 < z < 1.795$ (медианное значение $z \sim 0.43$), при этом 116 измерений получены впервые благодаря применению фотометрических алгоритмов.
- Получены оценки массы M_{500c} для 1659 скоплений (56% каталога, диапазон

(0.25–13.1) × 10^{14} $M_{\odot}$, средняя масса ~4 × 10^{14} $M_{\odot}$), включая 158 новых измерений масс по картам параметра комптонизации ACT+Planck и Planck.

- Численное моделирование показало, что каталог ComPACT при фиксированной чистоте превосходит по полноте каталог ACT DR5 (S/N > 3), демонстрируя повышенную чувствительность нейросетевого пайплайна к массивным скоплениям на больших красных смещениях (z > 0.8).
- В каталоге обнаружено пять ранее неизвестных массивных далеких скоплений (M_{500c} > 6 × 10^{14} $M_{\odot}$ на z > 0.7), что увеличило известную популяцию таких систем примерно на 10%.