

ВАЖНЕЙШИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЗАВЕРШЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ И ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

2016г.

1. Сверхмягкие рентгеновские источники и происхождения Сверхновых типа Ia.

М.Р.Гильфанов

В рамках широкой программы исследований, нацеленных на выяснение происхождения Сверхновых типа Ia, учеными ИКИ РАН совместно с коллегами из США, Германии, Австралии и Китая рассчитаны популяции Классических Новых в галактиках с различной историей звездообразования и предсказано количество транзиентных сверхмягких рентгеновских источников, связанных с их рентгеновским послесвечением. Найдено объяснение низкой частоте обнаружения ионизованных туманностей вокруг аккрецирующих белых карликов с термоядерным горением водорода на поверхности, рассчитаны свойства таких туманностей и предложена стратегия их поиска. По данным Слоановского обзора неба (США) измерены средние характеристики оптического линейчатого излучения от пассивно эволюционирующих галактик как функция их возраста. На основании этих измерений получены ограничения на источники ионизирующего излучения в этих галактиках и, в частности, на число сверхмягких рентгеновских источников и интегральный темп увеличения массы белых карликов в таких источниках. На основе этих данных получены сильные ограничения на вклад аккрецирующих белых карликов в наблюдаемую популяцию Сверхновых типа Ia.

Статьи:

1. Soraisam M., Gilfanov M., Wolf W., Bildsten L. Population of post-nova supersoft X-ray sources MNRAS, 2016, 455, 668 - *поддержка РФФ*
2. Woods T.E. and Gilfanov M. Where are all of the nebulae ionized by supersoft X-ray sources? MNRAS, 2016, 455, 1770 - *поддержка РФФ*
3. Johansson J., Woods T.E., Gilfanov M., Sarzi M., Chen Y.-M., Oh K. Diffuse gas in retired galaxies: nebular emission templates and constraints on the sources of ionization MNRAS, 2016, 461, 4505

2. Открытие далекого рентгеновского квазара

Г.А. Хорунжев, Р.А. Буренин, С.Ю. Сазонов

Один из самых далеких рентгеновских квазаров был обнаружен с помощью нового спектрографа АДАМ на 1,6-метровом телескопе АЗТ-33ИК Саянской солнечной обсерватории. Источник 3ХММ J125329.4+305539 находится на красном смещении $z=5,08$, а значит, его свет был испущен спустя всего лишь миллиард с небольшим лет после Большого взрыва. Этот объект является одним из самых далеких и ярких квазаров, обнаруженных по излучению в рентгеновском диапазоне. Полученные данные подтверждают высокие характеристики нового спектрографа низкого и среднего разрешения АДАМ.

Объект был обнаружен во время спектроскопической проверки отобранных в рентгене кандидатов в далекие квазары на $z>3$. Поиск таких источников является одним из важнейших направлений исследования истории роста сверхмассивных черных дыр и эволюции массивных галактик во Вселенной. Полученные результаты свидетельствуют, что уже сейчас, используя накопленные данные, можно значительно увеличить число известных рентгеновских квазаров. А в будущем, с запуском обсерватории Спектр-Рентген-Гамма, которая должна провести обзор всего неба в рентгене, это позволит обнаружить все наиболее яркие квазары в наблюдаемой части Вселенной.

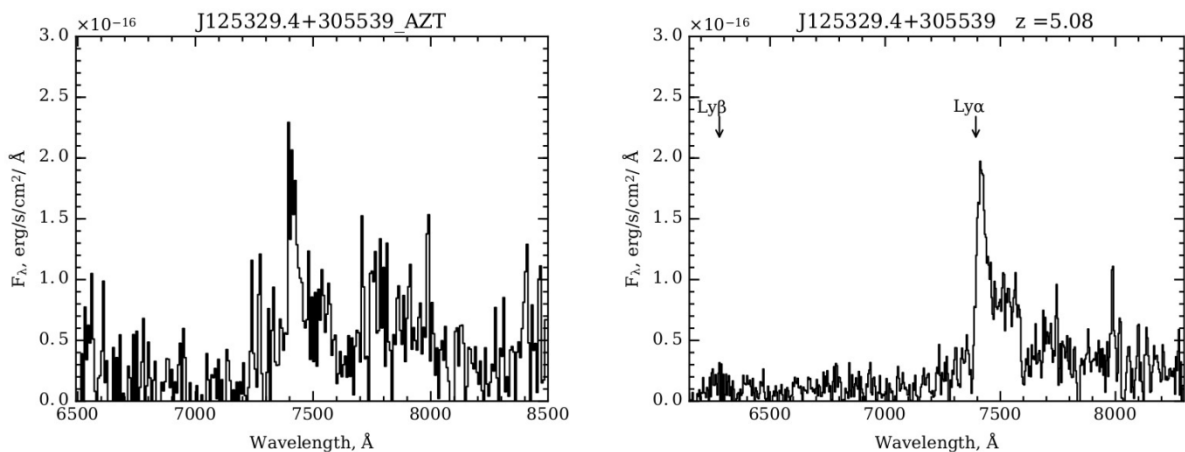


Рисунок 1: Спектры квазара J125329+305539 на красном смещении 5.08. Слева — измеренный спектрографом АДАМ (АЗТ-33ИК), справа — измеренный на телескопе БТА (САО РАН). По горизонтали — длина волны. Пик, обозначенный стрелкой, — линия Лайман-альфа.

Публикации:

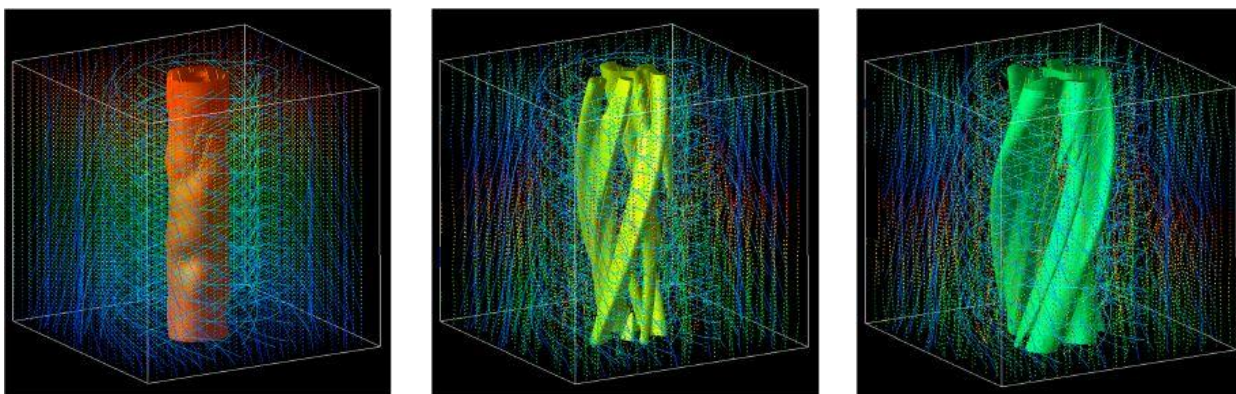
Г.А. Хорунжев, Р.А. Буренин, А.В. Мещеряков, С.Ю. Сазонов, "Каталог кандидатов в квазары на $3<z<5.5$ отобранных среди рентгеновских источников обзора 3ХММ-DR4 обсерватории ХММ-Ньютон" Письма в астрономический журнал, 2016, том 42, №5, с. 313-332, Astronomy Letters, 2016, Vol. 42, No 5, pp. 277-294. IF = 1.297 / 1.432

Г.А. Хорунжев, Р.А. Буренин, С.Ю. Сазонов, А.Л. Амвросов, М.В. Еселевич. "Оптическая спектроскопия кандидатов в квазары на $3<z<5.5$ из рентгеновского обзора обсерватории ХММ-Ньютон. Далекий рентгеновский квазар на $z=5.08$ " Письма в астрономический журнал, 2017, том 43, № 3, IF = 1.297

3. Численное моделирование динамики сложной трехмерной нестационарной вихревой структуры

Онищенко О.Г. и др.

Проведено численное моделирование динамики сложной трехмерной нестационарной вихревой структуры с учетом подхваченных вихрем частиц пыли. Показано, что в атмосфере с зародышевым медленным крупномасштабным движением (вращением вдоль вертикальной оси) из конвективных ячеек генерируются мелкомасштабные вихри с сильным тороидальным вращением. Используя новое вихревое решение идеальной гидродинамики, исследована структура вертикальной завихренности и тороидальной скорости атмосферного вихря. Пыль, подхваченная ветром, переносится на большие расстояния, оказывая существенное влияние на глобальный и региональный климат.



Результаты численного моделирования трехмерной нестационарной вихревой структуры – на картинках слева-направо показана эволюция пылевого дьявола во времени

1. Horton, W., H. Miura, O. Onishchenko, L. Couedel, C. Arnas, A. Escarguel, S. Benkadda, and V. Fedun, Dust devil dynamics, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 121, doi:10.1002/2016JD024832, 2016.
2. [Onishchenko](#) O. G., Pokhotelov O. A., Horton W., and Fedun V., Explosively growing vortices of unstably stratified atmosphere, *J. Geophys. Res.: Atmospheres*, 121, doi:10.1002/2016JD025961, 2016.

4. Формирование многомасштабных и асимметричных токовых слоев в солнечном ветре

Малова Х.В., Попов В.Ю., Григоренко Е.Е., Дунько А.В., Петрукович А.А., Л.М. Зеленый, Р.А. Кислов, И.С.Веселовский.

В рамках кинетического и МГД – подходов получены новые результаты о механизмах формирования многомасштабной и асимметричной структуры токовых слоев в солнечном ветре, в т.ч. гелиосферного токового слоя (ГТС). В слое толщиной порядка 10^5 км электрический ток формируется протонами на квазиadiaбатических орбитах и электронными дрейфами. Сопоставление с данными наблюдений дает качественное согласование. Новым эффектом является утолщение многомасштабного токового слоя в присутствии солнечных космических лучей. Найден механизм формирования асимметрии токовых слоев, находящихся под действием внешнего однородного гравитационного поля. Развита обобщенная модель Харриса с учетом силы гравитации. Рис.1. иллюстрирует профили магнитного поля (а) и соответствующей плотности тока (b) в исходной модели (синие линии) и модели токового слоя, возмущенного гравитационной силой (красные линии).

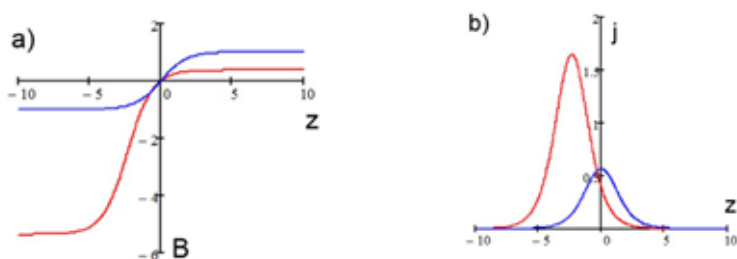


Рис. 1

Сила тяжести направлена в отрицательном направлении вдоль Z-координаты. Гравитационные дрейфы частиц плазмы вызывают два эффекта: 1) разделение зарядов и появление амбиполярного электрического поля, пропорционального массам частиц и величине ускорения свободного падения; 2) дрейфовые токи дают отрицательный вклад при $Z > 0$ и положительный при $Z < 0$. Таким образом, полная плотность тока уменьшается в положительной полуплоскости по Z и увеличивается в отрицательной, ширина токового слоя и амплитуда плотности тока меняются. Как результат, токовый слой асимметричным образом смещается в направлении действия силы гравитации, в то время как положение нуля магнитного поля не меняется. Результаты модели могут быть применены к описанию токовых слоев в магнитосфере Меркурия, экзопланет и плазменного тора Ио, внутренней гелиосферы.

Malova H. V., V. Yu. Popov, E. E. Grigorenko, A.A. Petrukovich, D. Delcourt, A. S. Sharma, O. V. Khabarova, and L. M. Zelenyi, Evidence for the quasi-adiabatic motion of charged particles in strong current sheets in the solar wind, *Astrophys. J.*, 2016, принято к печати.

Малова Х.В., Попов В.Ю., Григоренко Е.Е., Дунько А.В., Петрукович А.А., Гелиосферный токовый слой и эффекты его взаимодействия с солнечными космическими лучами, *Физика Плазмы*, Т. 42, N 8, С. 722-734.

В.Ю. Попов, Х.В. Малова, Моделирование взаимодействия гелиосферного токового слоя с энергичными частицами солнечного ветра, *Ученые Записки Физ. Ф-та МГУ*, N3, 163116-1 – 163116-5, 2016.

Veselovsky I.S., R.A. Kislov, H.V. Malova, O. Khabarova, The model of a collisionless current sheet in a homogeneous gravity field, *Physics of Plasmas*, 2016, N10, 102902, doi: 10.1063/1.4964774).

5. Механизм вспыхечных пульсаций жесткого рентгеновского излучения

Зимовец И.В., Струминский А.Б. и др.

- На основе анализа положения источников ЖР излучения ($E > 25$ кэВ) 29 солнечных вспышек, наблюдавшихся КА RHESSI в 2002-2015 гг., предложен механизм вспыхечных пульсаций.
- Пульсации являются следствием последовательных эпизодов выделения энергии при взаимодействии эруптирующего магнитного жгута с различными окружающими магнитными петлями.
- Модели, основанные на осцилляциях одиночных магнитных петель, не удовлетворяют наблюдательным результатам.

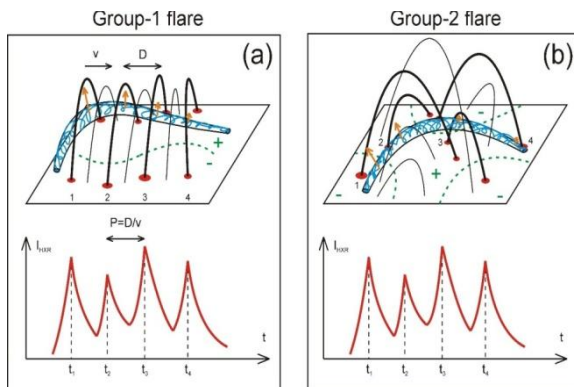


Рис.1. Схема возникновения пульсаций ЖР излучения солнечных вспышек группы-1 (a) и группы-2 (b).

Группа-1 16 вспышек (55%) с упорядоченным движением источников относительно фотосферной линии инверсии магнитной полярности (ЛИМП), имеющей относительно простую вытянутую форму.

Группа-2 13 вспышек (45%) характеризуется более хаотическим перемещением источников и более сложной конфигурацией ЛИМП.

Публикации и доклады

- S.A. Kuznetsov, I.V. Zimovets, A.S. Morgachev, A.B. Struminsky. Spatio-temporal dynamics of sources of hard X-ray pulsations in solar flares // Solar Physics, Online First, 2016, DOI: [10.1007/s11207-016-0981-3](https://doi.org/10.1007/s11207-016-0981-3).
- I.V. Zimovets, S.A. Kuznetsov, A.S. Morgachev, A.B. Struminsky. Spatio-temporal dynamics of flare hard X-ray pulsations // RHESSI Science Nugget 285, http://sprg.ssl.berkeley.edu/~tohban/wiki/index.php/Spatio-Temporal_Dynamics_of_Flare_Hard_X-ray_Pulsations. 10 ноября 100 просмотров с 31 октября 2016!
- С.А. Кузнецов, И.В. Зимовец, А.С. Моргачев, А.Б. Струминский. Нестационарная динамика источников пульсаций жесткого рентгеновского излучения солнечных вспышек // 11ая ежегодная конференция “Физика плазмы в солнечной системе”, 15-19 февраля 2016, ИКИ РАН, Москва, Россия.
- S.A. Kuznetsov, I.V. Zimovets, A.S. Morgachev, A.B. Struminsky. Spatio-temporal dynamics of sources of hard X-ray pulsations in solar flares // RadioSun-5 Workshop & Summer School, May 23-27, 2016, Astronomical Institute of the Academy of Sciences, Ceske Budejovice, Czech Republic.

6. Рельеф поверхности Венеры проступает сквозь толщу облаков

Международный коллектив, возглавляемый Ж.-Л. Берто (LATMOS, Франция), Хатунцев И.В., Пацаева М.В., Тюрин А.В., Федорова А.А., ИКИ РАН

Обнаружение взаимосвязи между состоянием верхнего облачного слоя Венеры и рельефом подстилающей поверхности. Был проведен глубокий совместный анализ данных VMC и SPICAV, полученных с борта Venus Express.

Было установлено, что зональная компонента скорости горизонтального потока в Южном полушарии демонстрирует существенные вариации в зависимости от географической долготы Венеры и коррелирует с рельефом поверхности Земли Афродиты (Aphrodite Terra) (Рис.1а). В диапазоне широт 5°-15°ю.ш. скорость меняется от 101 до 83 м/с. Замедление потока на 18% наблюдается над «материком» Земля Афродиты со смещением на 30-40° по долготе в сторону суперротации. Также в низких широтах к западу от Земли Афродиты наблюдается темный шлейф в УФ (365 нм) альbedo (Рис.1б), свидетельствующий о влиянии 4.5-километровой возвышенности на вертикальный перенос УФ поглотителя. И наконец, в той же области наблюдается избыток содержания водяного пара H₂O (Рис.1с).

Обнаруженный эффект был интерпретирован как результат проявления стационарных гравитационных волн, возникающих при столкновении горизонтального потока с горными возвышенностями Земли Афродиты.

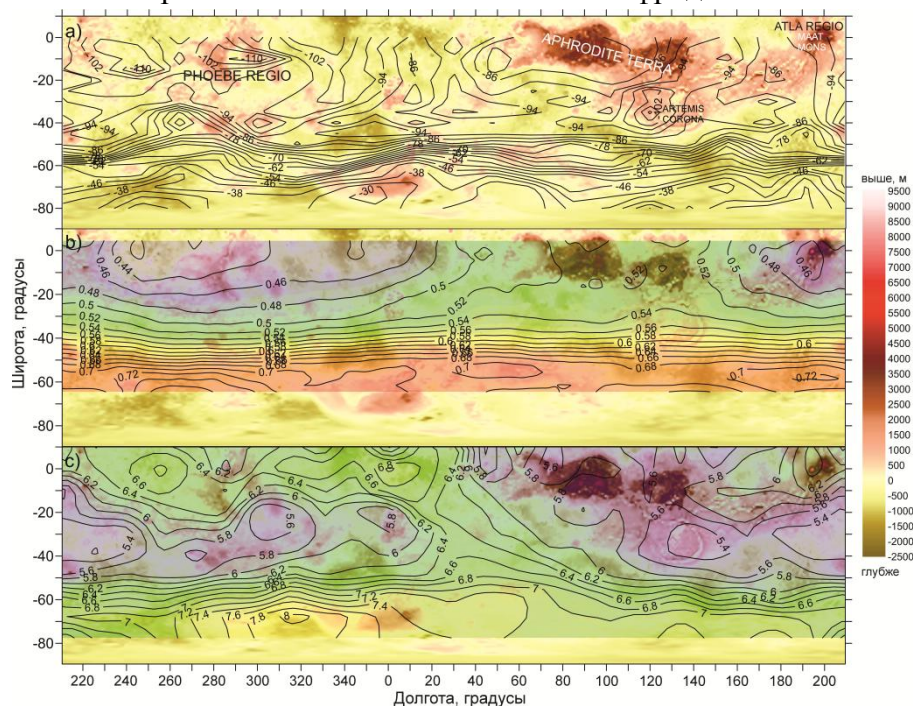


Рис. 1 Топографическая карта Венеры с наложенными данными: а – распределение скорости зональной компоненты горизонтального потока для измерений с местным временем от 12 до 13 часов (карта скоростей смещена на 35° на восток), б – распределение УФ альbedo (365 нм), с – содержание H₂O.

Публикации:

- 1) Bertaux, J.-L., I.V. Khatuntsev, A. Hauchecorne, W.J. Markiewicz, E. Marcq, S. Lebonnois, M. Patsaeva, A. Turin, and A. Fedorova // Influence of Venus topography on the zonal wind and UV albedo at cloud top level: The role of stationary gravity waves // J. Geophys. Res. Planets. 2016. 121, 1087–1101, doi:10.1002/2015JE004958
- 2) Хатунцев И.В., Федорова А.А., Пацаева М.В., Тюрин А.В // Рельеф поверхности Венеры проступает сквозь толщу облаков, Природа, №10 (1214), с.87, 2016

7. Карта концентрации воды в реголите полярных областей Луны

И. Г. Митрофанов, М. Л. Литвак, Б. Н. Бахтин, W. Boynton, А. А. Вострухин, Д. В. Головин, А. С. Козырев, А. В. Малахов, Т. McClanahan, М. И. Мокроусов, И. О. Нурджин, R. Starr, А. Б. Санин, В. И. Третьяков, Ф. С. Федосов, В. Н. Швецов, В. В. Шевченко, К. Harshman,

Продолжается анализ результатов измерений содержания и распределения водородосодержащих летучих соединений в приповерхностном слое лунного реголита по данным измерений потоков эпитепловых нейтронов от Луны, полученным российским прибором ЛЕНД, работающим с 2009г. на борту космического аппарата НАСА «Лунный разведывательный орбитер» (LRO). Был разработан метод оценки концентрации водорода (предположительно в форме водяного льда, water equivalent hydrogen, WEH) по данным эксперимента ЛЕНД. Метод позволил построить карты концентрации воды в верхнем слое реголита полярных областей Луны. Найдено, что не все постоянно затененные районы (холодные ловушки) содержат повышенную концентрацию воды по сравнению с окружающими их периодически освещаемыми Солнцем областями. Максимальная концентрация воды наблюдается в кратере Кабео и составляет ~0.54% по массе реголита в случае равномерного её распределения по глубине под поверхностью. Обнаружены периодически освещаемые районы с повышенной концентрацией воды. Для длительного сохранения в этих районах водяной лед должен находиться под слоем сухого реголита, препятствующим его испарению. При толщине сухого слоя ~1 м концентрация воды в нижнем слое реголита в кратере Кабео может достигать ~10% по массе.

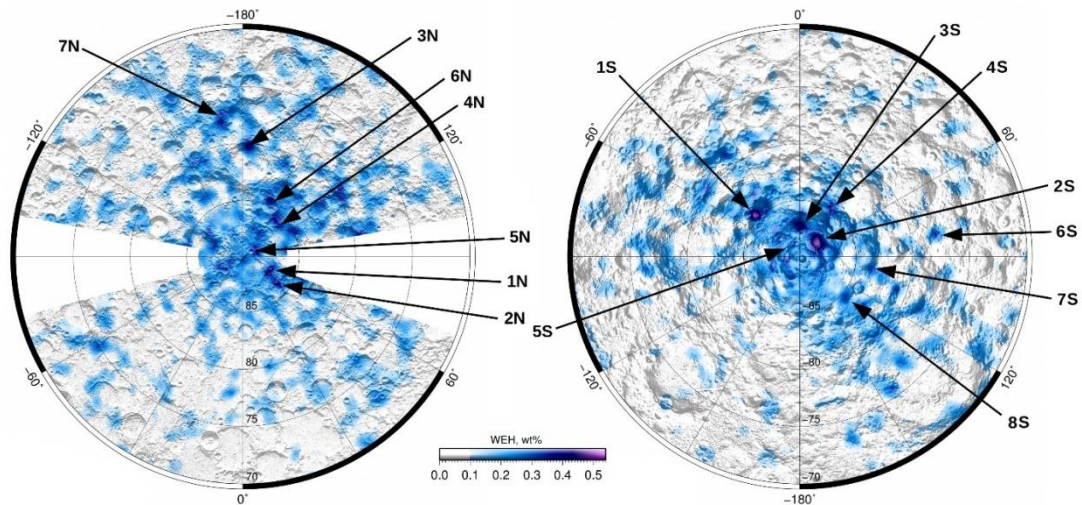


Рис. 1. Карты концентрации воды (WEH) в процентах от массы реголита в северной (слева) и южной (справа) околополярных областях от $\pm 70^\circ$ широты к полюсам. Отмеченные районы с наибольшей концентрацией воды перечислены в Таблице 1 статьи [1].

Публикации:

1. А.В. Санин, I.G. Mitrofanov, M.L. Litvak, B.N. Bakhtin, J.G. Bodnarik, W.V. Boynton, G. Chin, L.G. Evans, d, K. Harshman, F. Fedosov, D.V. Golovin, A.S. Kozyrev, T.A. Livengood, e, A.V. Malakhov, T.P. McClanahan, M.I. Mokrousov, R.D. Starr, f, R.Z. Sagdeev, V.I. Tret'yakov, A.A. Vostrukhin, "Hydrogen distribution in the lunar polar regions", *Icarus* (в печати, доступна в электронном виде на сайте журнала), doi:10.1016/j.icarus.2016.06.002
2. И.Г. Митрофанов, А.Б. Санин и М.Л. Литвак, "Вода в полярных областях Луны: результаты картографирования нейтронным телескопом ЛЕНД", *Доклады Академии Наук*, 2016 Т. 466. № 6. С. 660-663, doi:10.7868/S0869565216060098

8. Активное нейтронное зондирование вещества поверхности Марса в эксперименте ДАН на борту марсохода НАСА «Кьюриосити»

Митрофанов И.Г., Козырев А.С., Лисов В.И., Вострухин А.А., Головин Д.В., Литвак М.Л., Малахов А.В., Мокроусов М.И., Никифоров С.Ю., Санин А.Б.

В августе 2012 г. на поверхность Марса, в бассейне кратера Гейл, совершил успешную посадку марсоход Кьюриосити разработанный НАСА, основной задачей которого является поиск следов жизни и ключей к пониманию эволюции марсианского климата. С помощью российского космического эксперимента ДАН, выполняемого на борту марсохода, были получены новые данные о химическом составе и структуре марсианского грунта в кратере Гейл. В первую очередь - это оценки содержания связанной воды и хлора в приповерхностном слое грунта, а также их вариации вдоль трассы движения марсохода.

На основе обработки данных активного нейтронного зондирования грунта Марса в 412 районах вдоль 11 км трассы, пройденной аппаратом, получены оценки содержания воды и хлора в веществе на дне марсианского кратера Гейла (рис. 1).

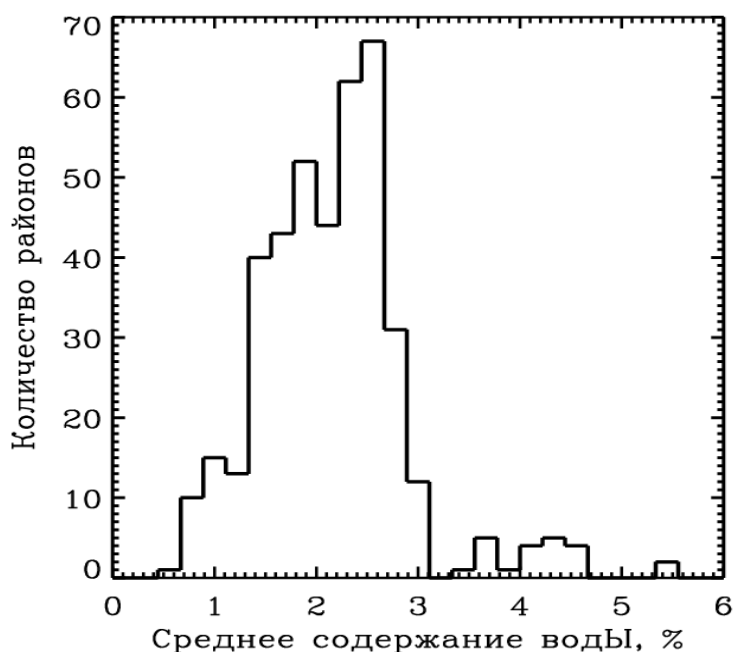


Рис. 1. Среднее содержание воды в грунте марсианского кратера Гейл вдоль 11 км трассы движения марсохода НАСА «Кьюриосити»

В 78% изученных районов распределение воды по глубине можно считать однородным, а ее средняя массовая доля составляет $2.1 \pm 0.5\%$ (здесь и ниже приведенный разброс значений соответствует среднеквадратичному отклонению). В 22% случаев измерений данные достоверно указывают на двухслойный характер распределения воды в грунте до глубины чувствительности около 60 см. Среднее содержание воды в верхнем слое составляет около 2–3% по массе и близко к значению для однородного распределения воды по глубине. В 8% случаев массовая доля воды в нижнем слое на глубине 27 ± 18 см увеличивается до $5.6 \pm 2.7\%$. В 14% случаев измерений в нижнем слое на глубине 14 ± 7 см наблюдается уменьшение массовой доли воды до $1.2 \pm 0.5\%$. Для интерпретации результатов измерений сделан вывод о существовании в кратере Гейл районов с высоким и низким содержанием воды, которые соответствуют горизонтам осадочных пород, образовавшимся в процессах осаждения в водной и атмосферной средах, соответственно.

Используя методы активного нейтронного зондирования удалось провести серию измерений в одном из наиболее интересных мест, области Кимберли, где орбитальные

наблюдения обнаружили нагромождение слоистых структур образованных в результате протекания больших потоков воды через бассейн кратера в во время теплой и влажной климатической эпохи существовавшей на древнем Марсе. Было обнаружено, что изменения среднего содержания воды и хлора в объеме вещества согласуются с чередованием слоев осадочных пород в этом месте, что может быть связано с условиями образования гидратированных минералов.

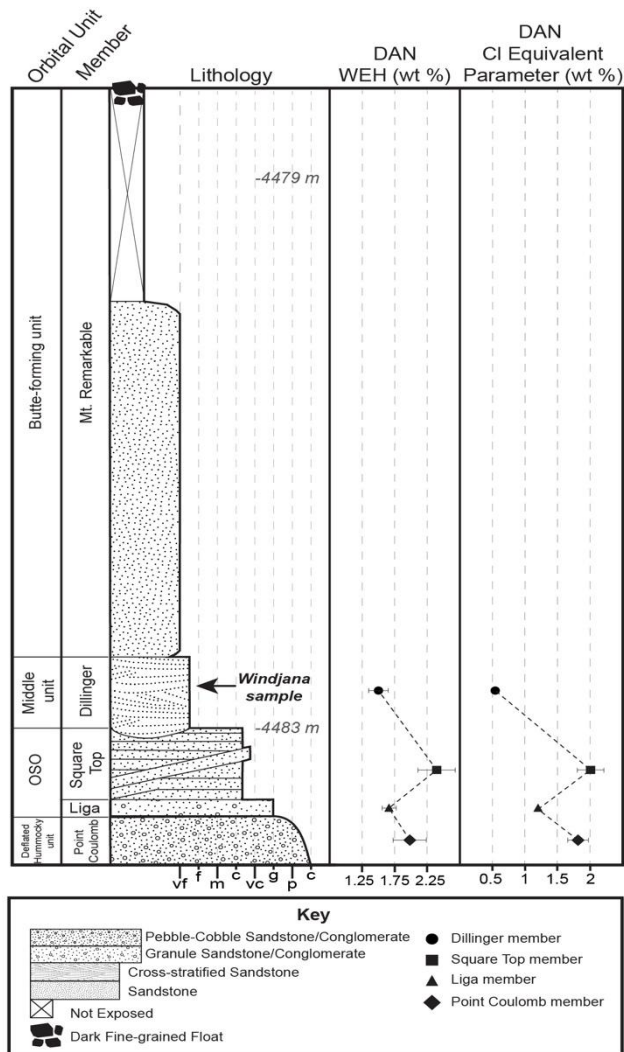


Рис 2. Стратиграфическая колонка иллюстрирующая различные геологические образования в области Кимберли и их корреляцию с измерениями воды и хлора, полученные с помощью прибора ДАН.

Митрофанов И.Г. и др.: *Письма в Астрономический Журнал*, т. 42, №4, стр. 285, 2016 г.
 M.L. Litvak et al., (2016) Hydrogen and chlorine abundances in the Kimberley formation of Gale crater measured by the DAN instrument on board the Mars Science Laboratory Curiosity rover, *Journal of Geophysical Research: Planets*, 121, 836–84, doi:10.1002/2015JE004960