

УДК 523.98

Магнитоизолированные комплексы на двух уровнях в атмосфере Солнца

В.М. Малащук, Н.Н. Степанян

НИИ “Крымская астрофизическая обсерватория”, Научный, АР Крым, Украина, 98409
mvm@crao.crimea.ua

Поступила в редакцию 27 декабря 2012 г.

Аннотация. Магнитоизолированные комплексы солнечных образований, обнаруженные ранее в верхней хромосфере по наблюдениям в линии He I λ 1083 нм, отождествлены в короне на изображениях в линии FeIX-X λ 17.1 нм. Границы комплексов на обеих высотах всегда видны в виде каналов, ширина которых зависит от структур, расположенных рядом с границами внутри и вне комплекса. Большинство арочных структур, один конец которых находится внутри комплекса, не пересекают границ комплексов (70 % на уровне верхней хромосферы и 80 % в короне). 80 % корональных дыр, входящих в комплексы, имеют открытую структуру магнитного поля.

Все это подтверждает реальность существования обнаруженных нами магнитоизолированных комплексов. Наблюдения таких комплексов в короне подтверждают их магнитную изолированность. Существенно, что этот вывод получен не из расчета магнитного поля на разных высотах, а по наблюдениям структур, трассирующих магнитные силовые линии.

MAGNETO-ISOLATED COMPLEXES AT TWO LEVELS OF THE SOLAR ATMOSPHERE, *by V.M. Malashchuk, N.N. Stepanian.* The magneto-isolated complexes were found in the upper chromosphere from observations in the He I λ 1083 nm line. All the complexes were confidently identified in the corona from the images in the FeIX-X λ 17.1 line. The boundaries of the complexes at two heights are always visible in the form of channels. Their width depends on the structures located close to the borders inside and outside the complex. Most arch structures, one end of which is located inside the complex, do not cross the boundaries of the complexes (70 % at the upper chromosphere and 80 % of events at the corona). 80 % of the coronal holes appearing in the complexes have an open structure of the magnetic field.

All these facts confirm existence of the observed magneto-isolated complexes. It is of importance that this conclusion is derived not from the calculation of the magnetic field at different heights but from observations of structures that trace the magnetic field lines.

Ключевые слова: Солнце, магнитные поля, хромосфера, корона

1 Введение

В работе (Малащук и др., 2012) говорилось об обнаружении на изображениях Солнца, полученных в линии He I λ 1083 нм, комплексов солнечных образований, имеющих слабую магнитную связь с

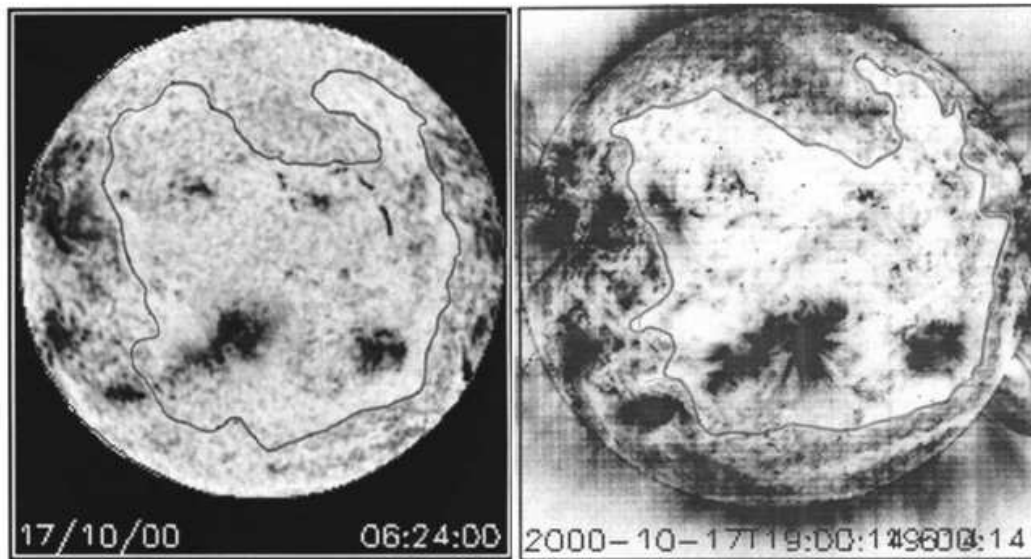


Рис. 1. Комплекс 17 октября 2000 г. Слева – изображение в линии He I 1083 нм с проведенной границей комплекса (извилистая темная линия). Справа – негатив изображения Солнца в линии 17.1 нм

окружающими структурами. Такие магнитоизолированные комплексы включают в себя корональные дыры (КД), области промежуточной яркости (ПО) и активные области (АО). В работе (Малашук и др., 2012) основное внимание было обращено на распределение магнитного поля внутри таких комплексов и на характер магнитной связи комплекса с окружающими структурами. Между элементами комплекса существует заметная магнитная связь. Так, часть силовых линий, выходящих из содержащихся в комплексе КД, замыкается внутри них, а часть выходит за границы КД и замыкается внутри комплекса.

Магнитная связь комплекса с окружающими участками Солнца также существует, но она довольно слабая в том смысле, что малый магнитный поток уходит из комплекса наружу.

Изменение поля с высотой в комплексе, полученное в работе (Малашук и др., 2012), происходит следующим образом. На уровне фотосферы внутри внешнего кольца комплекса, имеющего один знак поля, расположены участки поля противоположного знака. С ростом высоты вкрапления поля, знак которого противоположен знаку поля во внешнем кольце, занимают все меньшую площадь. И на некоторой высоте H_K на месте комплекса наблюдается большая униполярная область, знак поля которой совпадает со знаком поля во внешнем кольце. Для рассмотренных комплексов найденные высоты H_K находятся в пределах от $1.15R_\odot$ до $1.50R_\odot$, где R_\odot – радиус Солнца.

Цель настоящей работы состоит в том, чтобы выяснить, наблюдаются ли магнитоизолированные комплексы на более высоких уровнях в короне. Мы сравним вид комплексов на высотах образования линий He I λ 1083 нм и 17.1 нм, а также оценим связь магнитного поля внутри комплекса с внешними областями. Последнее будет сделано в результате изучения распределения арочных структур на двух высотах и по изменению площадей КД с высотой. На рис. 1 приведен пример вида одного комплекса на изображениях Солнца в линиях 1083 нм и 17.1 нм.

2 Материал наблюдений и его обработка

По изображениям Солнца в линии He I λ 1083 нм, полученным на универсальном спектрофотометре телескопа БСТ-2 в НИИ “КрАО”, было выделено 12 комплексов активности. Для некоторых из них

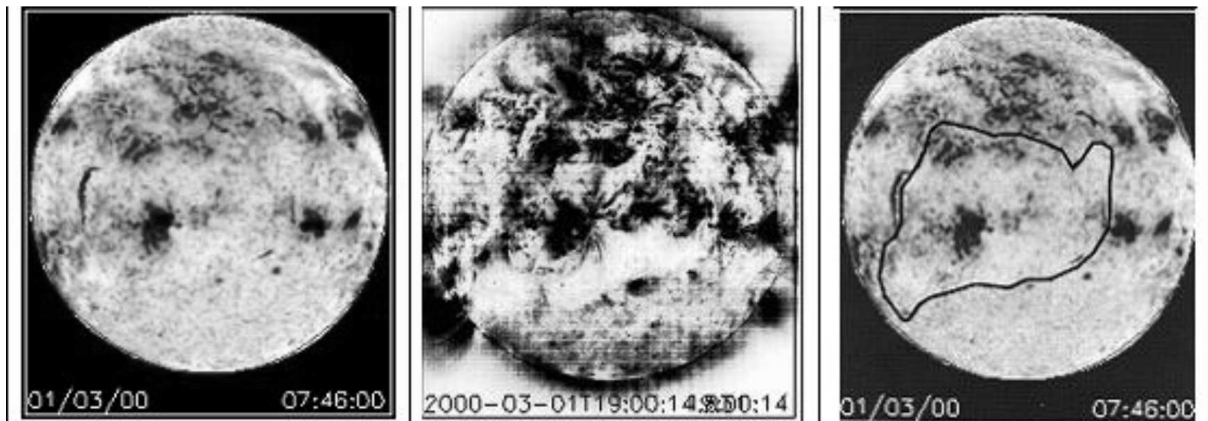


Рис. 2. Комплекс 1 марта 2000 г. Изображения слева направо: Солнце в линии He I 1083 нм, негатив изображения Солнца в линии 17.1 нм, изображение Солнца в линии He I 1083 нм с нанесенной границей комплекса

имелись наблюдения в течение 2–3 дней. Так что общее число комплексов было построено для 19 дней. Для всех дней были найдены изображения Солнца в линии FeIX-X λ 17.1 нм, полученные на КА SOHO. Линия 17.1 нм формируется в области короны с температурой $1.3 \cdot 10^6$ К. Таким образом, мы рассматриваем изображения Солнца на двух уровнях в атмосфере Солнца: в верхней хромосфере (в линии 1083 нм) и в короне (в линии 17.1 нм). На изображениях в линии 17.1 нм также были обнаружены комплексы и проведены их границы. Как правило, наблюдения в линии 17.1 нм относятся к 19 UT, а в HeI 1083 нм – к 5 UT. Для удобства сравнения изображений Солнца двух типов изображения в линии 17.1 нм были переведены в негативные. При этом на всех изображениях КД и ПО – светлые, а активные области и волокна – темные. Пример изображений Солнца в двух линиях с нанесенной границей комплекса дан на рис. 2.

3 Особенности вида комплексов в линиях He I 1083 нм и 17.1 нм

3.1 Границы комплексов

Опишем 3 типа границ комплексов.

1. Для обоих типов данных граница проходит вдали от активных областей. При этом в линии He I 1083 нм она имеет вид широкого канала повышенной яркости и пониженного контраста. Часто это вытянутая КД или ПО. В линии 17.1 нм на негативе также наблюдается канал повышенной яркости. Ширина его бывает шире или уже, чем канал в He I. Пример такой границы дан на рис. 3. Южная граница комплекса проходит вдали от активных областей.

2. У части комплексов вблизи внутренней стороны границы нет активных областей. Есть только КД или ПО. С внешней стороны к комплексу примыкают АО. В этом случае каналы вдоль границы имеют меньшую ширину. Такой случай виден на рис. 3 у юго-западной границы комплекса.

3. Граница комплекса проходит по узкому каналу между активными областями, расположенными внутри и вне комплекса. Это видно на северной границе комплекса на рис. 3.

Таким образом, границы комплексов всегда видны в виде каналов, ширина которых зависит от структур, расположенных рядом с границами внутри и вне комплекса. В одном комплексе разные участки границ могут быть разного типа, что и показано на рис. 3.

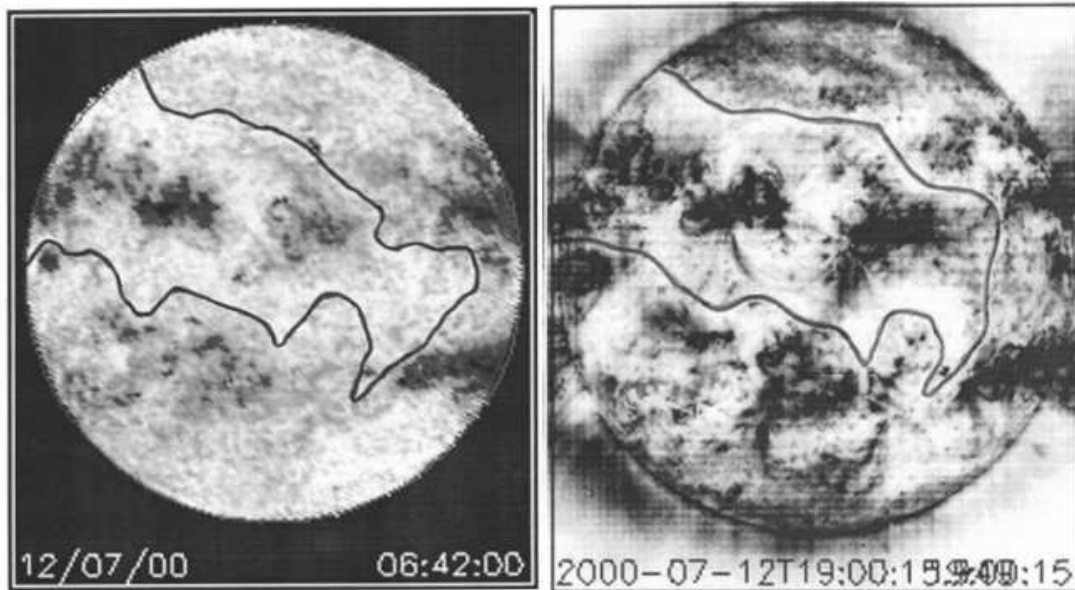


Рис. 3. Комплекс 12 июля 2000 г. Слева – изображение Солнца в линии He I 1083 нм с проведенной границей комплекса (извилистая темная линия). Справа – негатив изображения Солнца в линии 17.1 нм

3.2 Арочные структуры

На изображениях Солнца в линии He I наблюдаются короткие арочные структуры, относящиеся к верхней хромосфере, что видно из рис. 4. Их площадь мала по сравнению с площадью АО.

Излучение в линии 17.1 нм относится к корональным областям. Там видны многочисленные протяженные арочные структуры. Их площадь сравнима с площадью АО, из которой они исходят. Ниже будет рассмотрена связь арочных структур с границами комплексов.

3.3 Волокна

В большинстве случаев волокна видны только в линии He I. В короне над ними видны участки с яркостью КД или каналов волокон на уровне He I. Такой случай виден на рис. 5.

Только в магнитоизолированном комплексе за 26.12.2002 г. (северо-восток) видно волокно в линии He I 1083 нм и в линии 17.1 нм, что и показано на рис. 6.

4 Связь арочных структур с границами комплексов

Наблюдаемые арочные структуры являются трассерами силовых линий магнитного поля, соединяющих отдельные места активной области с местами выхода магнитного поля противоположного знака, что видно на рис. 7. Анализ связи арочных структур с границами комплексов поможет сделать вывод о степени изолированности магнитного поля комплексов. Преимуществом такого подхода перед расчетом силовых линий магнитного поля является независимость результата от ограничений, неизбежно принимаемых при расчетах поля.

На изображениях выбранных нами комплексов в обеих линиях (He I и 17.1 нм) было подсчитано число арочных структур трех типов:

А – арки целиком расположены внутри комплексов;

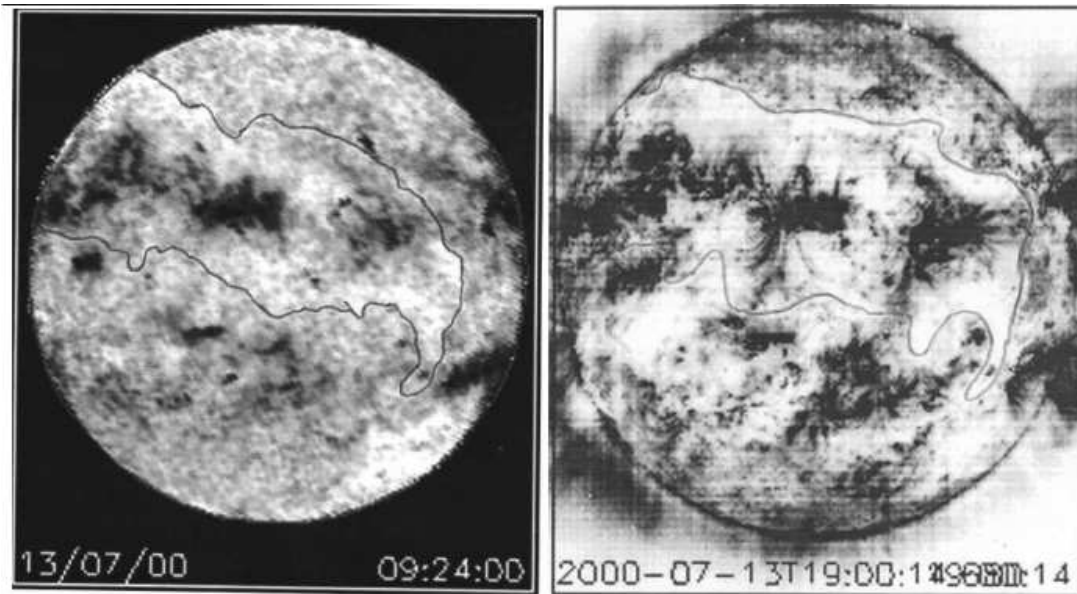


Рис. 4. Комплекс 13 июля 2000 г. Слева – изображение Солнца в линии He I 1083 нм с проведенной границей комплекса (извилистая темная линия). Справа – негатив изображения Солнца в линии 17.1 нм

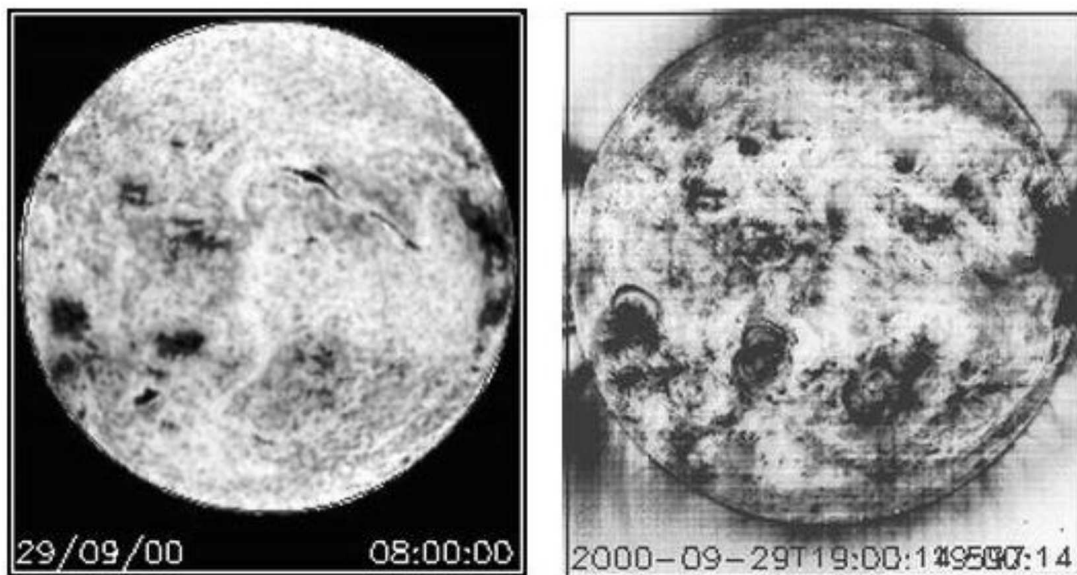


Рис. 5. На месте длинного волокна в северо-западной части диска Солнца, полученного в линии He I 1083 нм (левый снимок), на изображении, полученном в линии 17.1 нм (правый снимок), виден канал, яркость которого близка к яркости КД

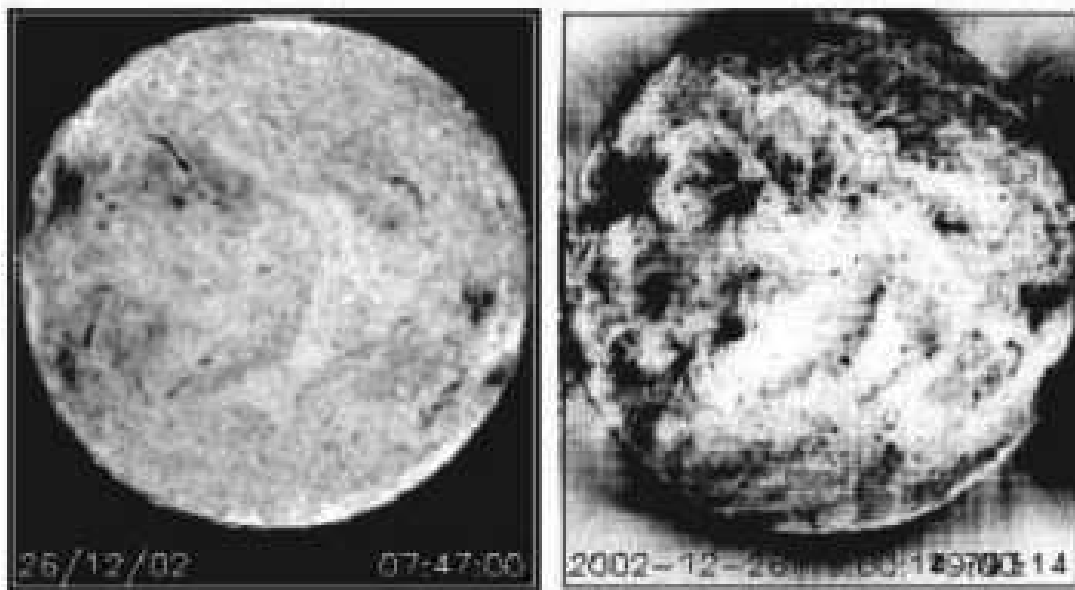


Рис. 6. Длинное волокно в северо-восточной части диска Солнца, полученного в линии He I 1083 нм (левый снимок) и на изображении, полученном в линии 17.1 нм (правый снимок)

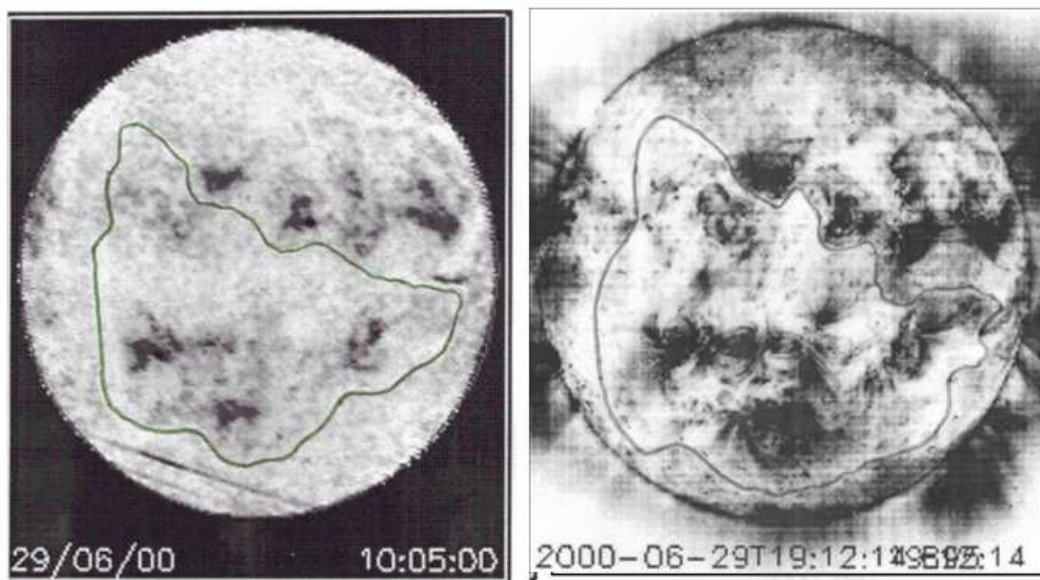


Рис. 7. Арочные структуры на диске Солнца, полученном в линии He I 1083 нм (левый снимок), и на изображении, полученном в линии 17.1 нм (правый снимок)

Таблица 1. Расположение арок относительно границ комплексов

Высота, Длина волны линии	Всего арок	А арки внутри комплекса	В арки пересекают границы	С арки касаются границы изнутри
Корона, 17.1 нм	1667 100 %	1353 81.1 %	187 11.2 %	127 6.2 %
Верхняя хромосфера, 1083 нм	843 100 %	608 72.1 %	148 17.5 %	87 10.3 %

Таблица 2. Изменение площадей корональных дыр с высотой

Число корональных дыр			
$S_k > S_{\text{хром}}$	$S_k = S_{\text{хром}}$	$S_k < S_{\text{хром}}$	Общее
33	46	22	101

В – арки пересекают границы комплексов;

С – один конец арки примыкает к границе комплекса.

Результаты подсчета для обоих уровней в атмосфере Солнца приведены в табл. 1.

Отсюда можно заключить, что на уровне верхней хромосферы более 70 % арочных структур, наблюдаемых внутри комплексов, не достигают границ комплекса. Для уровня короны доля таких структур превышает 80 %. Такой результат является подтверждением изолированности магнитного поля внутри комплекса.

5 Магнитное поле корональных дыр, входящих в комплексы

Ранее, в работах Степанян, Малащук (2002), Степанян и др. (2008), Бугаенко и др. (2004) было показано, что КД, площадь которых увеличивается или не меняется с высотой, почти полностью оказываются в области открытой магнитной трубки. КД, площадь которых уменьшается с высотой, находятся в области замкнутых линий поля. То есть изменение с высотой площадей КД, входящих в комплекс, может рассматриваться как одна из характеристик высотной стратификации магнитного поля в комплексах.

Для всех рассматриваемых нами комплексов были определены площади КД, находящихся внутри них на обоих уровнях в атмосфере Солнца (S_k – площадь на уровне короны и $S_{\text{хром}}$ – площадь на уровне верхней хромосферы). Всего найдена 101 КД внутри комплексов. Все КД были разбиты на 3 группы по характеру изменения площади S с высотой: $S_k > S_{\text{хром}}$, $S_k = S_{\text{хром}}$ и $S_k < S_{\text{хром}}$. Результат подсчета числа КД каждой группы представлен в табл. 2.

Таким образом, получено, что КД с открытой магнитной конфигурацией ($S_k \geq S_{\text{хром}}$) в комплексах составляют почти 80 % от всех КД. Это свидетельствует об открытой конфигурации магнитного поля над комплексом и подтверждает расчеты магнитного поля над комплексами в работе Малащук и др. (2012) (см. Введение).

6 Заключение

Сравнение магнитоизолированных комплексов, наблюдаемых на двух уровнях в атмосфере Солнца по изображениям в линиях 1083 нм и 17.1 нм, привело к следующим результатам:

- Комплексы, обнаруженные первоначально в верхней хромосфере на изображениях Солнца в линии He I λ 1083 нм, уверенно отождествляются в короне на изображениях в линии Fe IX–X λ 17.1 нм.
- Границы комплексов на обеих высотах всегда видны в виде каналов, ширина которых зависит от структур, расположенных рядом с границами внутри и вне комплекса.
- Большинство арочных структур, один конец которых находится внутри комплекса, не пересекают границ комплексов (≈ 70 % на уровне хромосферы и ≈ 80 % в короне).
- 80 % корональных дыр, входящих в комплексы, имеют открытую структуру магнитного поля.

Все это подтверждает реальность существования обнаруженных нами магнитоизолированных комплексов. Наблюдения их в короне позволяют говорить о магнитной изолированности комплекса и об их открытой магнитной структуре. Существенно, что этот вывод получен не из расчета магнитного поля на разных высотах, а по наблюдениям структур, трассирующих магнитные силовые линии, и по определениям площадей КД на двух уровнях в атмосфере Солнца.

Литература

- Бугаенко О.И., Житник И.А., Игнатьев А.П., Кузин С.В., Малащук В.М., Обридко В.Н., Перцов А.А., Руденко Г.В., Слемзин В.С., Степанян Н.Н., Файнштейн В.Г., Штерцер Н.И. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 2004. Т. 100. С. 123.
- Малащук В.М., Файнштейн В.Г., Степанян Н.Н., Руденко Г.В., Егоров Я.И. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 2012. Т. 108. С. 105.
- Степанян Н.Н., Кузин С.В., Файнштейн В.Г., Руденко Г.В., Малащук В.М., Перебейнос В.А. // Астрон. вестник. 2008. Т. 42. № 1. С. 86.
- Степанян Н.Н., Малащук В.М. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 2002. Т. 98. С. 8.