

УДК 523.982.6

Логические основания систем классификации солнечных активных областей

А.В. Жукова 

ФГБУН “Крымская астрофизическая обсерватория РАН”, Научный, 298409, Крым

Поступила в редакцию 11 июня 2026 г.

Аннотация. Вспышечная продуктивность солнечных активных областей (АО) значительно зависит от их магнитной конфигурации. Для определения сложности строения АО и описания их эволюции широко используются системы классификации (СК). Эти системы не всегда удовлетворяют логическим правилам, установленным для классификационных схем в целом. В настоящей работе изучены девять систем: широко востребованные СК Mount Wilson magnetic classification system, 3-component McIntosh classification of sunspots и другие, менее известные. Анализ соответствия СК законам логики показал следующее. Во-первых, для разделения общего объема понятия на подмножества следует использовать один характерный признак (основание). Магнитные системы используют в качестве ключевого критерия распределение полярностей в группе, что соответствует требованиям логики. Системы, основанные на наблюдениях в белом свете, рассматривают несколько признаков АО одновременно, что нарушает логическое правило одного основания. Во-вторых, объединение классов должно восстанавливать объем разделенного понятия (все АО). Однако в некоторых СК не учитываются важные типы АО (например, многополярные группы, одиночные пятна и т. п.). В-третьих, образованные классы должны исключать друг друга. Системы, использующие избыточную информацию об АО, обычно нарушают это правило. Наконец, классы должны образовывать непрерывную цепочку. В некоторых СК встречаются сложные классы, предшествующие более простым классам. В целом, логическим правилам удовлетворяют четыре из девяти рассмотренных систем: СК Mount Wilson в двух ее модификациях (исходная система Hale class и вариант United States Air Force Weather Agency), CV (classification value) индекс Malde и магнито-морфологическая классификация АО Крымской астрофизической обсерватории. Информация о присущих каждой конкретной СК логических нарушениях может быть полезной при работе с длительными рядами наблюдений, содержащими классификационные данные, и при изучении индивидуальных АО.

Ключевые слова: солнечные пятна, магнитная конфигурация, вспышечная продуктивность

1 Введение

Конфигурация магнитного потока и особенности топологии солнечных активных областей (АО) в значительной мере определяют их вспышечную продуктивность и способность производить сильные геоэффективные события. Для описания строения АО принято использовать системы классификации (СК), история которых насчитывает более ста лет.

В настоящее время известно более десятка классификационных схем, некоторые из которых существуют в разных вариантах. В данной работе рассматриваются девять СК (см. раздел 3). Акцент сделан на традиционных описательных системах, опирающихся непосредственно на строение АО, взаимное расположение и характеристики составляющих ее пятен. Такие СК позволяют подробно описывать эволюцию АО, выявлять особенности морфологии, связанные с производством вспышек, полезны при проведении статистических исследований и используются для выявления долгосрочных трендов активности. Динамические СК, снижавшие популярность в середине прошлого века и опирающиеся на внешние проявления продуктивности АО (частоту вспышечных событий и т. п.), в данной работе не рассматриваются.

На сегодняшний день наиболее востребованными являются две из описательных СК АО. Одна из них была разработана McIntosh (1990) и представляет собой модификацию более ранней СК Zürich (Kiepenheuer, 1953). Обе системы основываются на наблюдениях в белом свете и не требуют наличия сложного оборудования

✉ Адрес для корреспонденции: anastasiya.v.zhukova@gmail.com

на наблюдательных станциях. Основы другой известной системы Mount Wilson были заложены в начале прошлого века Дж. Э. Хейлом и коллегами (Hale et al., 1919; Hale, Nicholson, 1925), в силу чего ее принято также называть Hale class. СК Mount Wilson использует данные о магнитном поле АО. Интересны также некоторые другие, менее известные системы. Например, магнитные классификации, учитывающие топологию не только солнечных пятен, но и более слабых магнитных полей, наблюдаемых в границах АО (Martres et al., 1966; Smith, Howard, 1968).

Новые подходы к упорядочению информации о магнитном строении АО разрабатываются и в настоящее время. Отметим в этой связи недавно предложенную магнито-морфологическую классификацию (ММК) АО Крымской астрофизической обсерватории (КрАО; Abramenko et al., 2018; Жукова, 2018). Последняя модификация ММК АО КрАО (Abramenko, 2021) выходит за рамки традиционных описательных систем и устанавливает связь между конфигурацией АО, наблюдаемой на уровне фотосферы, и турбулентностью в конвективной зоне, способной оказывать влияние на характеристики формирующихся АО (Abramenko et al., 2023; Zhukova, Abramenko, 2026).

Следует отметить, что любая классификационная схема, независимо от области применения, должна основываться на общепринятых логических правилах (Асмус, 1947; Гетманова, 2008; Partochia, 2013). Четкость и определенность этих правил могут ассоциироваться с простотой в использовании. Однако на практике, применительно к таким сложным, многообразным и быстро эволюционирующим объектам, как АО, использование классификационных правил может вызывать затруднения. Например, в монографии Обридо (1985) отмечены избыточность, пересечение классов и некоторые другие недостатки известных СК. Наличие подобных недостатков может приводить к неоднозначности и ошибкам при классификации индивидуальных АО, а также влиять на качество длительных рядов наблюдений, содержащих классификационные данные.

Целью данной работы является исследование соответствия наиболее востребованных, а также менее известных СК АО логическим правилам, установленным для классификационных схем в целом.

2 Классификация как логическая операция деления. Деление общего объема понятия на классы

Классификацию АО (как и любых других объектов) принято проводить в соответствии с правилами логики – учения, определяющего условия правильного научного мышления (Асмус, 1947). Более того, согласно А. Пуанкаре, “формальная логика есть не что иное, как изучение свойств, общих для всех классификаций” (Poincare, 1963).

При классификации осуществляется логическая операция деления, предполагающая распределение общего объема понятия на ряд подмножеств (классов) при помощи избранного основания деления (Гетманова, 2008). Логические правила в их современном виде восходят к классической работе Э. Канта, опубликованной в 1800 г. (Kant, 1988), в которой определено логическое деление понятия как “разделение всего возможного, содержащегося в нем” и впервые сформулированы правила соразмерности и взаимного исключения классов (см. ниже). Подробнее ознакомиться с историческим аспектом формирования СК, равно как и с особенностями современного научного подхода к классификации, можно, например, в работе Partochia (2013).

Напомним значение основных логических терминов. Под общим объемом понятия принято понимать совокупность наиболее существенных признаков изучаемого объекта, определяющих его содержание. В качестве основания деления (а также классификации объектов как разновидности этой операции) выбирается обычно один из таких признаков, изменяющийся по определенному правилу. По этому признаку (критерию), собственно, и производится распределение объектов между классами. Для АО, например, задачи классификации сводятся к описанию сложности их строения (Jaeggli, Norton, 2016).

Чтобы логическая операция деления была проведена правильно, требуется соблюдение следующих необходимых условий (Асмус, 1947; Гетманова, 2008):

1. Правило соразмерности. Сумма объемов видовых (разделенных) понятий должна быть равна общему объему родового (делимого) понятия. Ошибками здесь могут быть неполное деление, при котором учитываются не все виды, и, наоборот, деление с лишними членами.
2. Правило одного основания. Хотя общий объем понятия может быть разделен на виды, вообще говоря, разными способами (по различным основаниям), в каждом отдельном случае деление должно проводиться строго по одному основанию. Это правило считается наиболее важным, поскольку его нарушение влечет за собой практически автоматическое нарушение следующего правила.

3. Правило взаимного исключения классов. Члены деления должны исключать друг друга, т. е. не должны иметь общих элементов (пересекаться).
4. Правило непрерывности. Переход от одного класса к другому должен происходить без резких скачков, систематически, по определенному правилу.

3 Соответствие общепринятых систем классификации АО логическим правилам

В данном разделе проводится анализ общепринятых СК АО на предмет их соответствия логическим правилам. Как упоминалось во [Введении](#), АО представляют собой сложные, многообразные, быстро эволюционирующие магнитные структуры. Классификация подобных объектов представляет собой непростую задачу. В связи с этим, несмотря на критический характер некоторых сделанных ниже замечаний, необходимо подчеркнуть весомый вклад рассмотренных далее систем в развитие физики Солнца. Кроме того, в других предметных областях также не всегда удается достичь соблюдения всех логических правил при классификации (см., например, статью на интернет-ресурсе Internet Encyclopedia of Philosophy¹).

В подразделах [3.1–3.3](#) рассматриваются описательные системы, основанные на наблюдениях в белом свете. Подразделы [3.4–3.9](#) посвящены классификациям, использующим данные о магнитном поле.

3.1 Классификация солнечных пятен Zürich

Классификация солнечных пятен Zürich, разработанная М. Вальдмайером, основана на ранней схеме Cortie (1901) и наиболее подробно описана в работе Kiepenheuer (1953). Девять классов этой системы, от А до J (в редакции Waldmeier 1947 г., рис. 1), представляют связную последовательность, описывающую развитие очень крупной группы солнечных пятен, и удовлетворяют логическому правилу непрерывности. Согласно СК Zürich, для всех больших АО этапы эволюции сходны (см. четыре примера на рис. 1), но в развитии малых АО возможно большее разнообразие и неоднозначности.

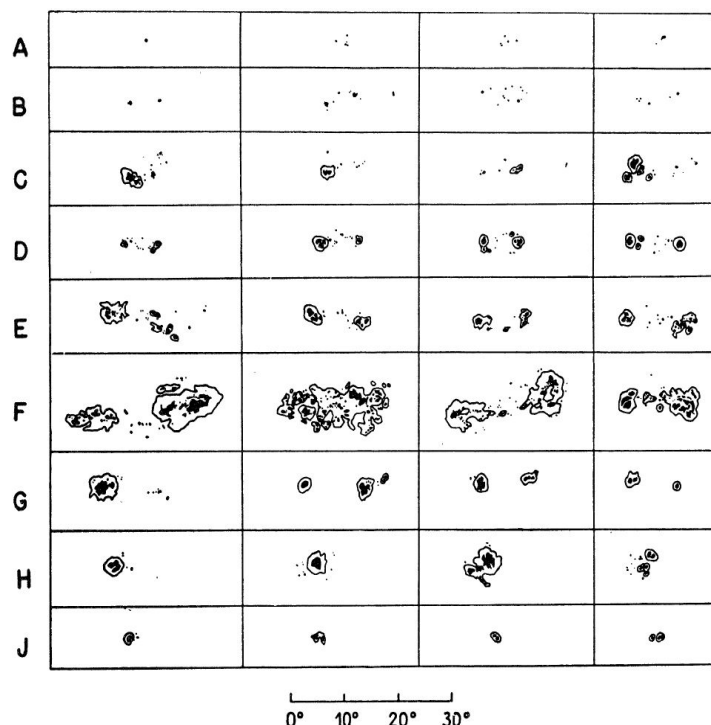


Рис. 1. Классификация солнечных пятен Zürich (схема Waldmeier 1947 г., Kiepenheuer, 1953)

¹ <https://iep.utm.edu/classification-in-science>

При распределении АО между классами СК Zürich учитывают целый ряд характеристик: размер АО, однополярный/биполярный характер группы, наличие у пятен полутени, ее сложность, степень заполненности внутреннего пространства дополнительными (помимо основных ведущего и хвостового) пятнами. Использование сразу нескольких существенных признаков означает нарушение самого важного из логических правил – правила одного основания – и порождает неоднозначности. Хотя по духу эволюционной классификации при выборе опорного критерия следует отдавать предпочтение сложности группы (Обридо, 1985), на практике наблюдателю, несомненно, удобнее ориентироваться на размер группы, поскольку этот признак наиболее ясно определен.

Следует также отметить, что для АО в каждом диапазоне размеров прописан определенный тип строения группы. Комбинации этих характеристик охватывают не все встречающиеся типы АО. Не учтены, например, крупные группы, в хвостовой части которых остались только поры, что случается при быстрой диссипации хвостового пятна. Не рассматриваются также сравнительно небольшие АО, имеющие тем не менее достаточно сложную конфигурацию. Предполагается, что только самые крупные группы класса F, занимающие не менее 15° по долготе, могут иметь сложную структуру. Все это нарушает правило соразмерности.

3.2 Трехкомпонентная классификация солнечных пятен McIntosh

В 70-х годах прошлого века была предпринята попытка устранить недостатки СК Zürich (McIntosh, 1990). В модифицированной СК McIntosh для оценки АО по каждому из наиболее существенных признаков (оснований) предусмотрена отдельная шкала. Схема полученной в результате трехкомпонентной системы представлена на рис. 2.

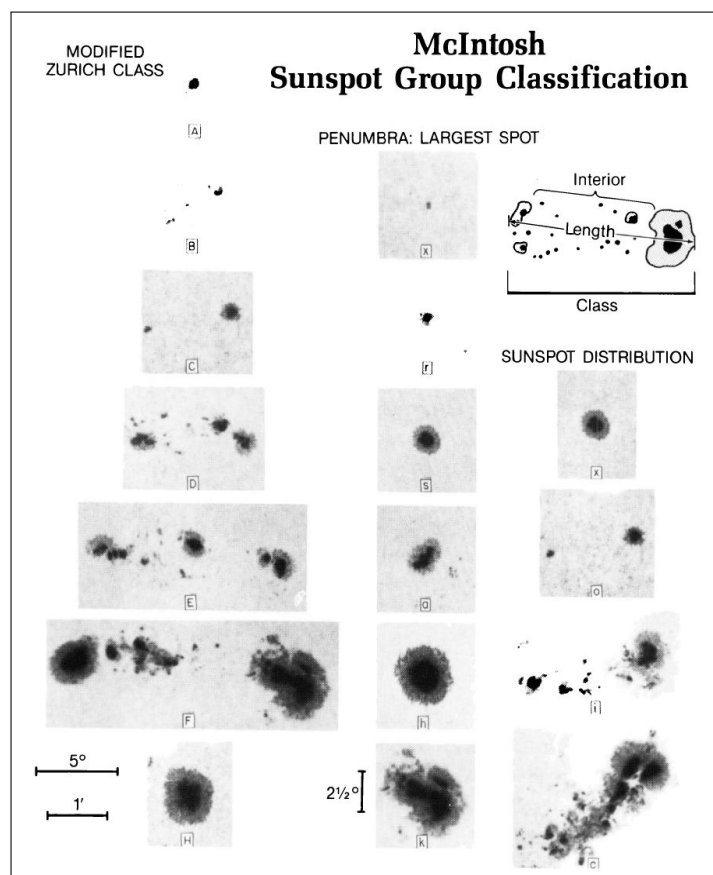


Рис. 2. Трехкомпонентная классификация солнечных пятен McIntosh (McIntosh, 1990)

Первая шкала СК McIntosh представляет скорректированный класс Zürich. При этом некоторые классы, соответствующие эволюционному этапу распада АО после достижения ею максимума развития (класс F), устранены. Речь идет о двух классах: классе G, представляющем упрощение конфигураций E и F,

возникающее при диссипации дополнительных пятен; классе J, аналогичном классу одиночных пятен H, но применяемом в случае классификации пятен меньшего размера. Вторая шкала описывает размер и симметрию полутени наибольшего пятна в группе. Третья шкала определяет распределение дополнительных пятен, заполняющих внутреннее пространство между основными ведущим и хвостовым пятнами. Подклассы этих шкал обозначаются малыми латинскими буквами. Определение класса АО по каждой из шкал происходит независимо. Общий класс по СК McIntosh обозначается тройной буквенной комбинацией.

Можно было бы ожидать, что применение трехмерного подхода позволит соблюсти правило одного основания. Однако первая шкала по-прежнему пытается учесть более одного признака: размер АО и наличие полутени у основных пятен. Вторая шкала, рассматривая полутень основного пятна, также опирается на две характеристики: размер и симметричную/асимметричную форму. И только третья шкала организована согласно правилам логики: переход от класса к классу происходит плавно, в соответствии с одним основанием – компактностью заполнения внутреннего пространства АО дополнительными пятнами.

Кроме того, сам факт наличия трех шкал приводит к избыточности комбинаций используемых признаков и нарушению логического правила соразмерности. Некоторые из классов невозможны по определению. Например, для одиночных пятен (классы A и H по первой шкале) не имеет смысла характеристика распределения пятен внутри группы. Бессмысленной является также комбинация Fxc, означающая крупную группу, у которой основное лидирующее и хвостовое пятна представляют собой поры, а множественные дополнительные пятна имеют зрелую полутень. Крупные группы, имеющие в качестве лидера пятно с рудиментарной тенью (Ero, Frc и т. п.) теоретически возможны, но практически не встречаются (Обридо, 1985). Даже после анализа практической реализуемости комбинаций и определения разрешенных классов (рис. 3) СК McIntosh остается весьма громоздкой.

Allowed types of groups in
McIntosh sunspot classification

Class	Penumbra: largest spot	Distribution	Number of types
(A)	(x)	(x)	1
(B)	(x)	(o i)	2
(C)	(r s a h k)	(o i)	10
(D E F)	(r)	(o i)	6
(D E F)	(s a h k)	(o i c)	36
(H)	(r s a h k)	(x)	5
Total allowed types:			60

Рис. 3. Таблица разрешенных классов СК McIntosh (McIntosh, 1990)

Следует также добавить, что некоторые авторы высказывали сомнения в обоснованности объединения классических цюрихских классов H и J, поскольку эти классы демонстрируют разное поведение при анализе протонных комплексов (Křivský, Obridko, 1969). Существует также мнение, что с точки зрения эволюции неоправданно относить АО, находящиеся на стадиях зарождения и распада, к одному и тому же классу A (Künzel, 1965).

3.3 CV-индекс Malde

Существенно упрощает работу с множественными классами СК McIntosh применение CV (classification value) индекса Malde (Malde, 1985). Для определения классификационного значения каждого класса McIntosh производится его “взвешивание” в соответствии со степенью сложности АО, которая выступает в этой системе в качестве одного основания. Классы организованы в группы – по десять в каждом из шести разрядов (см. шесть колонок на рис. 4). Первый разряд включает самые простые одно- и биполярные АО, состоящие из пор и малых пятен. Далее переход от разряда к разряду происходит плавно, с учетом увеличения размера АО, усложнения полутени составляющих ее пятен, более плотным наполнением внутреннего пространства группы дополнительными пятнами. Последние два разряда включают наиболее крупные АО со многими плотно расположенными большими пятнами.

AXX	1	CSO	11	FAO	21	DAC	31	CHO	41	FHO	51
BXO	2	CSI	12	DAI	22	EAC	32	CHI	42	DHI	52
BXI	3	DRO	13	EAI	23	FAC	33	DKO	43	EHl	53
HRX	4	ERO	14	FAI	24	DSC	34	EKO	44	FHI	54
CRO	5	FRO	15	DSO	25	ESC	35	FKO	45	DKC	55
CRI	6	DRI	16	ESO	26	FSC	36	DKI	46	EKC	56
HAX	7	ERI	17	FSO	27	HKX	37	EKI	47	FKC	57
CAO	8	FRI	18	DSI	28	CKO	38	FKI	48	DHC	58
CAI	9	DAO	19	ESI	29	CKI	39	DHO	49	ENC	59
HSX	10	EAO	20	FSI	30	HNX	40	EHO	50	FHC	60

Рис. 4. Классификационные значения (CV-индекс Malde) для классов СК McIntosh-Zürich (Malde, 1985)

Система Malde удовлетворяет всем логическим правилам, лаконична и удобна при проведении статистических исследований (Rybak, 2015). Но следует отметить два обстоятельства. Во-первых, при создании CV-индекса использованы исходные классы СК McIntosh, которые безупречны (см. подраздел 3.2). Во-вторых, выполнение правила одного основания достигается за счет потери детализации, столь ценной для описания эволюции индивидуальных АО и представляющей основное достоинство СК McIntosh.

3.4 Магнитная классификационная система Mount Wilson. Исходный Hale class

В этом подразделе и ниже описываются СК, опирающиеся на данные о магнитном поле. Наиболее востребованной из них является магнитная классификация Mount Wilson magnetic classification system, существующая в нескольких вариантах. Исходную систему, предложенную Дж. Э. Хейлом с коллегами (Hale et al., 1919; Hale, Nicholson, 1925), принято называть также Hale class. Согласно исходной СК, группы солнечных пятен делятся на три основных класса: однополярные, биполярные и сложные (многополярные). Распределение полярностей (представленных одним или множественными пятнами) в АО служит мерой ее сложности и является логическим основанием распределения АО между классами.

Таблица 1. Магнитная классификация Mount Wilson (исходный Hale class; Hale et al., 1919; Hale, Nicholson, 1925)

Однополярные группы	Биполярные группы	Многополярные группы
α – предшествующий и последующий массивы флоккул симметричны относительно центрального пятна;	β – предшествующий и последующий члены группы приблизительно равны по площади;	γ – сложные группы, у которых полярности расположены столь нерегулярно, что группу невозможно классифицировать как биполярную.
αp – пятно предшествует массиву флоккул;	βp – предшествующий член является основным компонентом группы;	
αf – пятно следует за массивом флоккул;	βf – последующий член является основным компонентом группы;	
	$\beta \gamma$ – биполярный характер группы прослеживается, но нет четкой линии, разделяющей полярности;	

При построении СК Hale class используется принцип иерархии: два из ее классов в свою очередь разделены на подмножества. Одиночные пятна распределены между тремя подклассами с учетом положения центрального пятна по отношению к окружающим кальциевым флоккулам (таблица 1). При распределении биполярных АО между подклассами учитывается доминирование предшествующего (лидирующего) или последующего члена группы. При этом каждый из членов может быть представлен как одним, так и множеством пятен преимущественной полярности. Лидирующему и последующему членам самых сложных биполярных АО класса $\beta \gamma$ могут сопутствовать небольшие пятна противоположной полярности. Следует отметить также факт выделения сложных АО, состоящих из множества произвольно расположенных пятен разной полярности, в отдельный класс. Согласно подходу Дж.Э. Хейла, такие АО не могут быть классифицированы как биполярные в принципе. Этот класс важен тем, что включает наиболее крупные и активные группы.

В целом исходная система Hale class организована с учетом всех логических правил. Сделаем, однако, два замечания. Во-первых, в ранней работе Hale et al. (1919) приведены данные о некотором количестве неклассифицируемых АО. Это означает, что на момент публикации общий объем понятия АО не исчерпывался суммарным объемом рассматриваемых классов. В более поздней публикации (Hale, Nicholson, 1925) данных о неклассифицируемых АО не приводится.

Второе замечание также связано с выполнением логического правила соразмерности. В 50-х годах прошлого века, значительно позже разработки исходной СК Hale class, были проведены подробные исследования АО, имеющих δ -конфигурацию (Künzel, 1960). Речь идет о группах, у которых ядра противоположной полярности расположены близко друг к другу, в общей полутени. Как оказалось, АО именно этого типа демонстрируют высокую вспышечную продуктивность (Künzel, 1960, 1965), что подтверждается современными исследованиями (см., например, Jaeggli, Norton, 2016 и множество ссылок в этой работе). Hale, Nicholson (1925) также описывали ранее подобные конфигурации, но не придавали им особого значения и не предусматривали для них отдельный класс. Необходимость учета δ -структур привела позднее к реорганизации исходной системы Hale class и созданию нескольких вариантов модификации СК Mount Wilson (два из них обсуждаются в подразделе 3.6).

3.5 Магнитная классификационная система Künzel. δ -структуры

Как упоминалось в предыдущем подразделе, исследование вспышечной продуктивности АО, содержащих δ -структуры, показало необходимость включения таких групп в классификационные схемы. Первая попытка такого рода была предпринята в работе Künzel (1965). Автор попытался наиболее полно описать строение индивидуальных АО и возможные этапы их эволюции.

СК Künzel представляет собой компиляцию наиболее известных на тот момент СК: Zürich и Hale class. Основой новой системы послужили эволюционные классы Zürich с соответствующими буквенными обозначениями. Для достижения максимальной подробности описания АО к заглавным латинским буквам добавлялись индексы, соответствующие классам системы Hale class (α , β ..., отвечающие за распределение полярностей в группе). Использовались также многие другие индексы, каждый из которых отражал одну из множественных дополнительных характеристик АО: количество пятен в группе, наличие факелов, выполнение группой закона полярностей Хейла и другие описательные данные. В СК Künzel учитывались даже некоторые динамические характеристики АО: частота вспышек, тенденция к усложнению/упрощению группы, наличие эмиссии в линии $H\alpha$ и др.

СК Künzel можно определить как систему, нацеленную на наиболее полное описание общего объема понятия АО. Однако учет множества признаков, оперирование множеством сочетаний букв и индексов привели к громоздкости системы. СК Künzel даже более громоздка, чем обсуждавшаяся выше другая производная СК Zürich – система McIntosh (подраздел 3.2). Здесь также имеет место нарушение логических правил одного основания и соразмерности. Описание всех классов системы и анализ разрешенных классов отсутствуют. Не предусмотрена также градация классов, что нарушает правило непрерывности. Кроме того, как следует из анализа данных (приведенных в таблице 3 в работе Künzel, 1960), при проведении статистических исследований автор допускал пересечение классов. Например, количество АО класса D (251) исчерпывается суммарным количеством АО подклассов D_β (246) и D_γ (5). АО подкласса D_δ (6) в общей сумме не учитываются. Такая же картина наблюдается и для других классов (E , F ...).

Таким образом, данная система не удовлетворяет ни одному из логических условий. В связи с вышеизложенным, если опираться исключительно на правила формальной логики, СК Künzel не следует определять как классификацию. Однако глубина и подробность этой системы обеспечили ее успешное использование в европейской гелиофизике на протяжении десятилетий. Не являясь формально строгой, эта описательная система тем не менее позволяет фиксировать комплексное состояние АО.

3.6 Магнитная классификационная система Mount Wilson. Вариант USAF

Как упоминалось в подразделе 3.4, попытка учета δ -структур в СК Mount Wilson привела к изменению исходной схемы Hale class и к созданию множества новых вариантов. Два из них приведены в официальном руководстве United States Air Force (USAF) – *Air Force Weather Agency Manual 15-1: Space Environmental Observations Solar Optical Observing Techniques* (AFWAMAN).

Первый из вариантов СК Mount Wilson дан в AFWAMAN в виде рисунка с примерами магнитных классов (рис. 5). Он представляет собой первоначальную модификацию исходной СК Hale class, обсуждавшейся в подразделе 3.4. Изменения здесь коснулись только третьего класса – многополярных АО. Данный класс

Figure 4.4. Mount Wilson Magnetic Classification System.

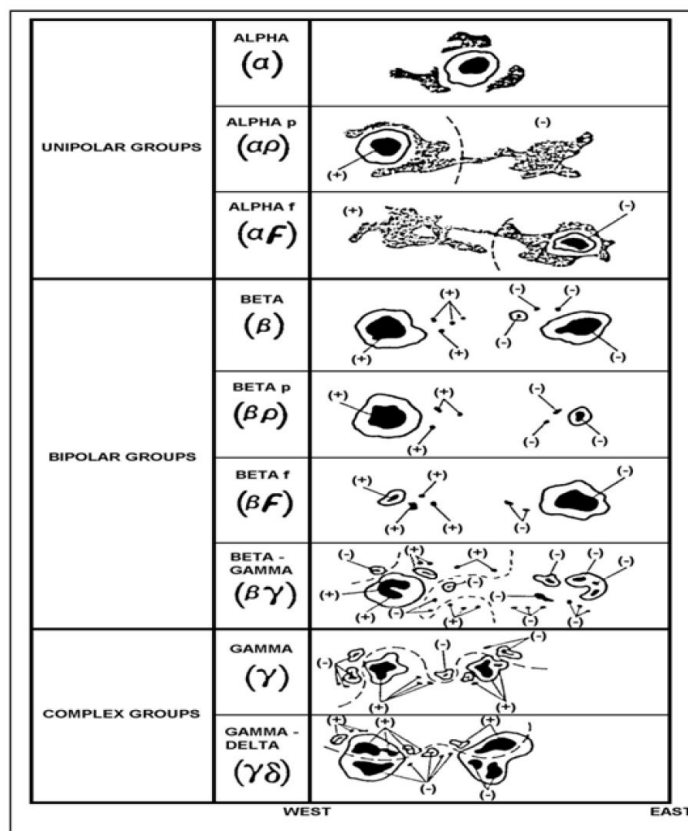


Рис. 5. Первоначальная модификация исходной схемы Hale class, приведенная в руководстве AFWAMAN

разделен на два подмножества: собственно многополярные АО (γ) и многополярные АО, содержащие δ -структуры ($\gamma\delta$). Очевидно, что если задаться целью полноценного учета δ -структур, то здесь, как и в исходной схеме Hale class, общий объем понятия не восстанавливается за счет объемов понятий всех классов. δ -структуры не обязательно являются частью многополярных АО. Они могут образовывать самостоятельные группы или быть составной частью биполярных АО. Данный вариант СК Mount Wilson можно считать устаревшим, в связи с чем он не будет рассматриваться на предмет соответствия логическим правилам более подробно.

Другой вариант системы Mount Wilson, который и предлагается в руководстве AFWAMAN для практического применения, значительно отличается от исходной системы Hale class и удобен тем, что имеет полноценное описание. Соответствующие классы, которые учитываются в отчетах USAF, приведены в таблице 2. Этот вариант СК Mount Wilson представляет собой законченную систему. По сравнению с исходной системой Hale class, из общего объема понятия исключена информация о флоккулах, предшествующих или следующих за одиночным пятном, а также о доминировании предшествующего или последующего члена биполярной группы. По-видимому, эти признаки АО, равно как и соответствующие им подклассы, признаны несущественными. Как и исходная система Hale class, вариант AFWAMAN опирается на распределение полярностей в группе (имеет одно основание). Учет δ -структур происходит за счет дублирования каждого из основных подклассов СК Hale class: β и $\beta\delta$, $\beta\gamma$ и $\beta\gamma\delta$, γ и $\gamma\delta$. Таким образом, здесь соблюдаются соразмерность и независимость классов.

Единственное критическое замечание можно сделать по поводу способа, которым организована градация подклассов. Хотя разделение АО между тремя основными подмножествами (однополярными, биполярными, многополярными АО) сохраняется, соответствующие им подклассы не следуют один за другим в описании. Например, биполярные группы с δ -структурами ($\beta\delta$) считаются более сложными конфигурациями, чем многополярные АО без δ -структур (γ). Это может быть спорным и вызвать некоторое сомнение относительно выполнения правила непрерывности. В целом же СК Mount Wilson в варианте AFWAMAN удовлетворяет всем логическим правилам.

Таблица 2. Магнитная классификация Mount Wilson. Вариант, предлагаемый к практическому использованию в руководстве AFWAMAN

Альфа	α	Одиночное пятно или группа, вокруг которой распределение флоккул довольно симметрично. Часто сопровождается областью противоположной полярности без видимых пятен.
Бета	β	Биполярная группа, у которой напряженность магнитного поля и площадь пятен показывают баланс между лидирующим и хвостовым пятном. Полярности демонстрируют четкое разделение.
Бета-гамма	$\beta\gamma$	Группа пятен с бета (биполярными) характеристиками, но недостаточно четко определенной линией разделения между полярностями. Включает случаи, когда лидирующее и хвостовое пятно сопровождаются пятнами противоположной “неправильной” полярности.
Гамма	γ	Группа пятен, у которой полярности совершенно перемешаны.
Бета-дельта	$\beta\delta$	Группа пятен, которая имеет бета-характеристики, но у которой ядра противоположной полярности расположены в общей полутени.
Бета-гамма-дельта	$\beta\gamma\delta$	Группа пятен, которая показывает бета-гамма-характеристики, но имеет ядра противоположной полярности, расположенные в общей полутени.
Гамма-дельта	$\gamma\delta$	Группа пятен, которая показывает гамма-характеристики, но имеет ядра противоположной полярности, расположенные в общей полутени.

3.7 Магнитная и эруптивная классификация Martres, Michard и Soru-Iscovici

Менее известная, нежели описанные выше, но интересная по организационному принципу магнитная и эруптивная классификация обсерватории Meudon была разработана ее сотрудниками M.J. Martres, R. Michard и I. Soru-Iscovici (MMS) в 60-х годах прошлого века (Martres et al., 1966). Как и исходная система Hale class, СК MMS принимает во внимание одновременно магнитные поля пятен и флоккул.

Таблица 3. Магнитная и эруптивная классификация обсерватории Meudon, разработанная M.J. Martres, R. Michard и I. Soru-Iscovici (Martres et al., 1966)

Простые АО	S	Две противоположные полярности располагаются регулярно по обеим сторонам от единственной линии инверсии.
Подклассы:		
Нормальная	Sn	Простая АО с линией инверсии, слегка наклонной по отношению к меридиану; если в простой АО два центра активности, то они расположены рядом по широте, без значительного смещения по долготе.
Аномальная	Sa	Простая АО с аномалией, т. е. нерегулярностью: имеющая аномальный наклон оси относительно параллелей; имеющая последующие пятна, “чрезмерные” по сравнению с размерами АО (аспект βf по системе Hale class).
Сложные АО	C	Противоположные полярности располагаются нерегулярно по отношению к нескольким линиям инверсии; если возможно проведение одной линии инверсии, то ее форма оказывается сложной и содержит участки, почти перпендикулярные меридиану.
Подклассы:		
ancienne	Ca	АО сложна из-за наличия долгоживущего флоккула, связанного с окружающими магнитными полями.
contemporains	Cc	АО сложна из-за состыковки и частичного наложения двух “современных” (возникших приблизительно одновременно) центров активности.
centres		
polarités	Cp	АО сложна из-за наличия одной или нескольких случайных полярностей (точек сильного поля, входящих в область противоположной полярности). Иногда совокупность случайных полярностей сопоставима по размеру с небольшим биполярным центром активности.
parasites		
Многополярная	$C\gamma$	АО представляет собой сложную группу пятен, определяемую как класс γ в системе Mount Wilson (множество полярностей, расположенных нерегулярно).

Согласно СК MMS, в первую очередь все АО делятся на простые и сложные (таблица 3). Сложность АО снова служит основанием классификации. Дальнейшее разделение АО на подклассы определяется особенностями линии инверсии, обусловленной взаимным расположением пятен и флоккулов. Классы СК MMS не пересекаются: их градация связана с их вспышечной продуктивностью, выражающейся в количестве эруптивных событий в день и непрерывно возрастающей от самого простого класса *Sn* к самому сложному классу *Sy* (см. таблицу 1 в работе Martres et al., 1966).

Можно было бы заключить, что СК MMS организована в соответствии с правилами логики, если бы не отсутствие специального класса для одиночных пятен. Предполагается, что структура любой группы может быть описана как биполярная. Между тем некоторые из АО состоят строго из пятна/пятен одной полярности и не могут быть идентифицированы иначе как однополярные. Таким образом, общий объем понятия АО не покрывается суммой объемов понятий классов, что означает неполное логическое деление и нарушает правило соразмерности.

3.8 Магнитная классификация АО, предложенная S. Smith и R. Howard

Рассмотрим еще одну магнитную классификацию АО, представленную S. Smith и R. Howard (Smith, Howard, 1968). Эта СК близка по структуре к СК MMS и была разработана приблизительно в то же время, хотя и независимо от нее. Как и предыдущие, эта система рассматривает взаимодействие полярностей (пятен, флоккулов), но с учетом также областей более слабого магнитного поля.

Таблица 4. Магнитная классификация АО, разработанная S. Smith и R. Howard (Smith, Howard, 1968)

Обозначение	Определение класса АО
B	Простая биполярная АО.
BC	Простая биполярная АО, у которой одна полярность частично окружает другую.
BS	Простая биполярная АО с областью противоположной полярности, погруженной в один или оба главных биполярных компонента АО.
BY	Биполярная АО с полуостровом одной полярности, расширяющимся в другую полярность.
BCS	Биполярная АО с характеристиками BC и BS классов.
BYS	Биполярная АО с характеристиками BY и BS классов.
BB	Две соседние простые биполярные АО, нечетко различимые как отдельные флоккулы.
BBC	АО класса BB с любой из C, Y или S характеристик.
B-V	Две соседние простые биполярные АО, четко различимые как отдельные флоккулы.
BCV	Две соседние биполярные АО, четко различимые как отдельные флоккулы, но включающие любую из C, Y или S характеристик.
BBB	Три тесно расположенные АО класса B любой степени сложности.
X	Отметка о недостаточности данных для определения класса.

СК Smith и Howard представлена как одноуровневая система (таблица 4). Как и СК MMS (подраздел 3.7), эта система учитывает простоту и сложность АО, но соответствующие совокупности АО не рассматриваются здесь как классификационные подмножества. Более того, авторы подчеркивают, что к сложным классам иногда следует относить группы очевидно простой конфигурации (см. пример подобной АО, отнесенной к достаточно сложному классу BBC, на рис. 2 в работе Smith, Howard, 1968). В результате градация классов, организованная в соответствии с ростом сложности АО, теряет плавность и подвергает сомнению строгость выполнения логического правила непрерывности.

Следует сделать и другие замечания. Во-первых, в отличие от СК MMS, система Smith и Howard рассматривает одиночные пятна, учитывая даже их отрицательную (AN) и положительную (AP) полярность. Во-вторых, данная система распознает АО, нарушающие закон полярностей Хейла (Hale, Nicholson, 1925). В этой цели основные классы системы дублируются (с добавлением буквы R: RB, RBC, RBS и т. п.). Однако иерархический уровень всех этих подмножеств не определен, в общее описание системы они не включены, что нарушает логическое правило соразмерности. Расширение системы и включение антихейловских АО в общую иерархию (за счет создания полноценных подклассов соответствующих классов) определенно имеет физический смысл. При этом следует иметь в виду сложности, возникающие при идентификации

антихейловских групп. Ошибки могут возникать из-за неверно определенных границ группы, изменения ее свойств в процессе эволюции и по другим причинам (Sokoloff et al., 2015; Zhukova et al., 2020).

Заметим, что для приведения СК Smith и Howard в соответствие с логическими правилами требуется лишь небольшая коррекция.

3.9 Магнито-морфологическая классификация АО КрАО

Недавно предложенная ММК АО КрАО (Abramenko et al., 2018; Жукова, 2018), как и другие магнитные системы, опирается на сложность магнитной конфигурации АО. В этой системе учитывается выполнение/нарушение АО классических эмпирических закономерностей, установленных для биполярных групп солнечных пятен: закона полярностей Хейла, закона Джоя о широтной зависимости угла наклона магнитной оси группы относительно экватора (Hale et al., 1919; Hale, Nicholson, 1925), правила доминирования лидирующего пятна в группе (Grotrian, Künzel, 1950; van Driel-Gesztelyi, Green, 2015). Последняя модификация ММК АО КрАО значительно отличается от первоначальной и акцентируется на разновидностях сложных многополярных АО (Abramenko, 2021; Abramenko et al., 2023). Соответствующая схема классов ММК приведена на рис. 6.

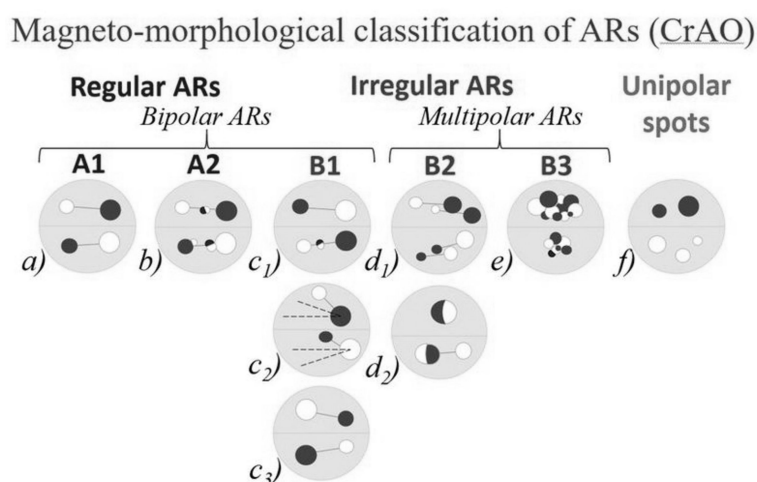


Рис. 6. Магнито-морфологическая классификация АО КрАО (Abramenko, 2021; Abramenko et al., 2023). Схема из работы Zhukova, Abramenko (2026)

В ММК АО КрАО переход от простых регулярных биполярных групп, выполняющих указанные выше закономерности (класс А), к АО с нарушениями (класс В) осуществляется плавно. Соблюдению правила непрерывности способствует использование в качестве меры сложности АО степени отклонения данной группы от регулярной биполярной структуры. За самую незначительную аномалию принимается присутствие в АО дополнительных малых магнитных элементов. Нарушение эмпирических законов, установленных для биполярных групп, рассматривается как более существенное отклонение. Далее следуют искажения, отражающие взаимодействие нескольких биполярных структур и/или экстремально близкое расположение полярностей одного биполя. В качестве наиболее серьезного нарушения рассматривается хаотичное расположение пятен, не позволяющее уверенно распознать биполярную структуру и характерное для самых сложных многополярных АО. Система учитывает также одиночные пятна (класс U).

Система имеет два иерархических уровня. Класс А разделяется на два подмножества по признаку наличия/отсутствия малых δ -структур (подклассы А1 и А2 соответственно). Класс В имеет три подмножества. Подкласс В1 включает биполярные группы, у которых отмечено нарушение хотя бы одной из эмпирических закономерностей. Заметим, что АО с нарушением закона полярностей Хейла, закона Джоя, правила доминирования лидирующего пятна (рис. 6, c_1 , c_2 и c_3 соответственно) представлены на схеме лишь для иллюстрации характера возможных нарушений. Их не следует рассматривать в качестве подмножеств подкласса В1 более низкого иерархического уровня, поскольку многие биполярные АО имеют более одного нарушения (возникло бы пересечение классов). Более сложные АО относятся к подклассу В2. Такие группы отклоняются от простой биполярной структуры: представляют собой близко расположенные соосные биполи

(рис. 6, d_1) или крупные δ -структуры (рис. 6, d_2). Наиболее сложные многополярные группы с произвольным расположением полярностей составляют подкласс В3.

В целом СК ММК КрАО удовлетворяет логическим правилам. Нужно отметить, что, несмотря на непосредственное участие автора в разработке данной системы, были предприняты значительные усилия, чтобы при анализе ММК КрАО избежать предвзятости и сделать максимально отстраненные и беспристрастные суждения.

4 Обсуждение

Анализ допущенных в разных системах логических нарушений показывает, что трудности, возникающие при классификации АО, связаны с их физической природой. Несмотря на наличие биполярного паттерна (Hale et al., 1919; Hale, Nicholson, 1925), многие АО представляют собой сложные магнитные структуры, эволюция которых может значительно отличаться. Именно критерий сложности выступает в качестве логического основания всех описательных классификационных схем.

При этом возникает существенное противоречие. Сложность АО является составным понятием и может быть определена исходя из множества признаков. Естественное стремление классификатора исчерпать общий объем понятия за счет наиболее полного описания исследуемых объектов и учесть все значимые признаки наталкивается на необходимость выбора единственного (в соответствии с правилом одного основания), наиболее существенного признака, по которому и будет по факту производиться распределение АО между классами. Попытка заменить одним признаком совокупность всех остальных признаков представляет собой вызов.

С этой точки зрения создатели магнитных систем находятся в лучшем положении, чем специалисты, основывающиеся на наблюдениях в белом свете. Магнитные СК так или иначе опираются на взаимное расположение полярностей в группе, что обеспечивает выполнение правила одного основания и создает необходимый логический фундамент. Три из рассмотренных в данной работе магнитных систем (исходная СК Hale class, СК Mount Wilson в версии AFWAMAN и ММК АО КрАО) можно считать удовлетворяющими логическим правилам. Еще две СК (близкие по принципам построения системы MMS и Smith и Howard) могут быть приведены в соответствие с логическими требованиями путем сравнительно несложных преобразований.

С системами, основанными на наблюдениях в белом свете, дело обстоит иначе. Понимая магнитную природу АО, создатели этих СК не имеют возможности различать полярности при наблюдениях. В силу этого при описании сложности АО возникает необходимость учета целого ряда признаков: размера группы и составляющих ее пятен, наличия и количества дополнительных (по отношению к основным ведущему и хвостовому) пятен и т. п. Именно это делает подобные СК громоздкими и неудобными в использовании, обрекает на нарушение правила одного основания. При этом общий объем понятия АО все равно остается неисчерпанным, т. к. за рамками описания остаются такие важные магнитные характеристики, как обратная полярность биполярных групп, многополярный характер АО, наличие δ -структур. В единственной из таких систем, удовлетворяющей всем логическим требованиям (CV-индекс Malde), упрощение достигнуто за счет потери детализации.

Тем не менее следует отметить, что недостатки систем, основанных на наблюдениях в белом свете, не следует относить к ошибкам разработчиков этих СК. Используемые ими подходы можно оценить как вполне обоснованные на момент создания СК, учитывая характер используемых данных. Основа этих систем была заложена в период пионерских наблюдений магнитного поля, когда основным источником информации об АО на множестве наблюдательных станций был белый свет. Тот факт, что некоторые из этих СК используются и теперь, при наличии доступных данных современных магнитографов, говорит об их несомненной полезности и качестве.

Заметим также, что на проблематику настоящей работы можно посмотреть под другим углом зрения. Все вышеизложенное касалось соответствия существующих классификаций логическим основаниям, определенным для СК правилами классической логики и математики. Однако можно задаться вопросом о том, всегда ли и как именно применимы эти правила к таким сложным, быстро и многообразно эволюционирующим объектам, как АО.

Наибольший вызов здесь представляет необходимость соблюдения правил непрерывности и взаимного исключения классов. Действительно, эволюция АО, объясняемая при помощи физики плазмы и магнитной гидродинамики, вовсе не ограничивается непрерывным поступательным развитием групп солнечных пятен. В развитии АО могут случаться (и случаются) резкие изменения, носящие дискретный и лавинообразный характер (например, быстрое всплытие нового потока и образование δ -структур, внезапное пересоединение

магнитных силовых линий и т. п.). В подобные переходные моменты физическая природа АО вступает в противоречие с требованием отнести АО только к одному определенному классу. Каждая новая деталь и даже шум на изображениях приводят к неоднократному “переключению” модели между классами.

Возможно, при разработке астрофизических таксономических классификаций правило непрерывности следует понимать не как математическую непрерывность функции, а как организацию некоего усредненного, в целом плавного эволюционного ряда. При этом дискретные скачки классов, которые могут демонстрировать некоторые индивидуальные АО, можно рассматривать как отражение порогов устойчивости, соответствующих различным физическим процессам, которые случаются у данной конкретной магнитной конфигурации.

В этом случае при проведении статистических и индивидуальных исследований АО можно предложить несколько практических подходов. Во-первых, в процессе классификации индивидуальных АО, можно учитывать их эволюцию в течение некоторого временного интервала. Такой подход позволяет рассматривать характеристики АО комплексно, без фиксации на некотором случайном изображении. Во-вторых, можно отойти от классической булевой алгебры и логики. Последняя оперирует понятиями “ложь” и “истина”, обозначаемыми при помощи дискретных значений 0 и 1 соответственно. При классификации АО в этой парадигме истиной будет считаться принадлежность АО только к одному определенному классу. В fuzzy-логике (оперирующей нечеткими множествами, Zadeh, 1965), в отличие от булевой, функция принадлежности объекта к множеству может принимать любые значения на отрезке от 0 до 1. В рамках этой логики, например, при всплытии или распаде биполярных АО (когда “хвостовая” полярность “пробивается” в течение длительного времени или вновь появляется после исчезновения) группа может быть классифицирована одновременно как биполярная и однополярная (с присвоением разных коэффициентов, составляющих в сумме единицу). В качестве еще одного варианта может быть использована схема эмбединга, широко применяемого в машинном обучении. Сложные многомерные данные об АО могут быть представлены в виде векторов. В результате доступными становятся различные процедуры: понижение мерности векторного пространства, сравнение векторов с эталонным и т. п. Все это позволяет сохранять непрерывность данных, хотя и уводит от логически организованных классификационных схем.

5 Заключение

В работе рассмотрены девять классификационных систем АО, как широко востребованных, так и менее известных. Анализ соответствия СК логическим правилам, установленным для классификационных схем в целом, показал следующее:

1. АО имеют сложную магнитную структуру и эволюционируют не всегда одинаково, что создает трудности для их классификации.
2. Сложность АО порождает противоречие между необходимостью наиболее полного описания общего объема понятия (слагающегося из многих существенных признаков) и выполнением правила одного основания (подразумевающего выбор единственного, наиболее значимого признака, на основании которого производится распределение АО между классами).
3. Магнитные СК используют в качестве ключевого признака взаимное расположение полярностей в группе, что позволяет вполне корректно описывать степень сложности АО и обеспечивает выполнение логического правила одного основания.
4. СК, основанные на наблюдениях в белом свете, не различают полярности и вынуждены использовать для описания АО одновременно несколько характеристик. Например, размер группы и составляющих пятен, наличие дополнительных (по отношению к основному ведущему и хвостовому) пятен и т. п. Это приводит к нарушению как минимум двух логических правил: правила одного основания и правила взаимного исключения классов.
5. Среди других логических нарушений можно отметить отклонение от правил соразмерности и непрерывности. Первое возникает, когда система не включает в рассмотрение АО какого-либо распространенного типа (например, одиночные пятна, или многополярные группы, или δ -структуры). Второе связано с отсутствием последовательности в цепочке классов (когда, например, более сложные классы предшествуют более простым).
6. Только четыре из девяти рассмотренных СК АО в целом удовлетворяют логическим правилам, а именно: СК Mount Wilson в двух ее модификациях (исходная система Hale class и вариант AFWAMAN), CV-индекс Malde и ММК АО КрАО, которая является новейшей из рассмотренных классификационных схем.

Полученные результаты могут быть полезными при работе с длительными рядами наблюдений, содержащими классификационные данные. Нарушения, присущие каждой конкретной СК, следует учитывать как при проведении статистических исследований, так и при анализе характеристик индивидуальных АО.

Отметим также, что в настоящей работе были рассмотрены только те особенности классификационных схем, которые связаны с выполнением/нарушением логических правил. Конкурентные преимущества, достоинства и ограничения существующих СК, не связанные с логической обоснованностью, остались за рамками данной работы и представляют интерес для дальнейшего исследования.

Благодарности. Автор выражает благодарность В.И. Абраменко за ценное обсуждение, а также анонимному рецензенту за глубокие и содержательные комментарии, позволившие качественно расширить обсуждение результатов.

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН “КрАО РАН”. Дополнительных грантов на проведение данного исследования получено не было.

Конфликт интересов. Автор сообщает об отсутствии конфликта интересов.

Литература

- Асмус В.Ф., 1947. Логика. Москва: Огиз Госполитиздат. С. 62–63. [Asmus V.F., 1947. Logic. Moscow: Ogiz Gospolitizdat, pp. 62–63. (In Russ.)].
- Гетманова А.Д., 2008. Логика. Углубленный курс. Москва: Кнорус. С. 40–47. [Getmanova A.D., 2008. Logic. Advanced course. Moscow: Knorus, pp. 40–47. (In Russ.)].
- Жукова А.В., 2018. *Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв.* Т. 114. № 2. С. 74–86. [Zhukova A.V., 2018. *Izv. Krymsk. Astrofiz. Observ.*, vol. 114, no. 2, pp. 74–86. (In Russ.)].
- Обридко В.Н., 1985. Солнечные пятна и комплексы активности. Москва: Наука. С. 214–219. [Obridko V.N., 1985. Sunspots and activity complexes. Moscow: Nauka, pp. 214–219. (In Russ.)].
- Abramenko V.I., 2021. *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.*, vol. 507, no. 3, pp. 3698–3706.
- Abramenko V.I., Zhukova A.V., Kutsenko A.S., 2018. *Geomagnetism and Aeronomy*, vol. 58, no. 8, pp. 1159–1169.
- Abramenko V.I., Suleymanova R.A., Zhukova A.V., 2023. *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.*, vol. 518, no. 3, pp. 4746–4754.
- Cortie A.L., 1901. *Astrophys. J.*, vol. 13, p. 260.
- Grottrian W., Künzel H., 1950. *Zeit. Astrophys.*, vol. 28, p. 28.
- Hale G.E., Nicholson S.B., 1925. *Astrophys. J.*, vol. 62, p. 270.
- Hale G.E., Ellerman F., Nicholson S.B., Joy A.H., 1919. *Astrophys. J.*, vol. 49, p. 153.
- Jaeggli S.A., Norton A.A., 2016. *Astrophys. J.*, vol. 820, no. 1, L11.
- Kant E., 1988. Logic. New York: Dover Publications.
- Kiepenheuer K.O., 1953. The Sun. p. 322.
- Křivský L., Obridko V., 1969. *Solar Phys.*, vol. 6, no. 3, pp. 418–427.
- Künzel H., 1960. *Astron. Nachr.*, vol. 285, no. 5, p. 271.
- Künzel H., 1965. *Astron. Nachr.*, vol. 288, p. 177.
- Malde K.I., 1985. Sonne, vol. 36, pp. 159–163.
- Martres M.J., Michard R., Soru-Iscovi I., 1966. *Annales d’Astrophysique*, vol. 29, p. 245.
- McIntosh P.S., 1990. *Solar Phys.*, vol. 125, no. 2, pp. 251–267.
- Parrochia D., 2013. Towards a General Theory of Classifications. Basel: Birkhäuser.
- Poincare H., 1963. Mathematics and Science: Last Essays. New York: Dover Publications.
- Rybak A.L., 2015. *Geomagnetism and Aeronomy*, vol. 55, no. 7, pp. 884–886.
- Smith S.F., Howard R., 1968. Structure and Development of Solar Active Regions. IAU Symp., vol. 35, p. 33.
- Sokoloff D., Khlystova A., Abramenko V., 2015. *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.*, vol. 451, no. 2, pp. 1522–1527.
- van Driel-Gesztelyi L., Green L.M., 2015. *Liv. Rev. Solar Phys.*, vol. 12, no. 1, p. 1.
- Zadeh L.A., 1965. *Information and Control*, vol. 8, pp. 338–353.
- Zhukova A., Abramenko V., 2026. *Solar Phys.*, vol. 301, no. 1, p. 15.
- Zhukova A., Khlystova A., Abramenko V., Sokoloff D., 2020. *Solar Phys.*, vol. 295, no. 12, p. 165.

Logical basis of classification systems for solar active regions

A. Zhukova

Crimean Astrophysical Observatory, Nauchny 298409

Abstract. The flare productivity of solar active regions (ARs) depends significantly on their magnetic configuration. Classification systems (CSs) are widely used to define the complexity of ARs and to describe their evolution. However, CSs do not always meet the generally accepted logical rules for classification schemes. In this study, nine systems are studied: the widely applied Mount Wilson magnetic classification system, 3-component McIntosh classification of sunspots, and other less known systems. Our analysis of the conformity of CSs to the rules of logic showed the following. Firstly, a single characteristic feature (basis) should be used for dividing a general concept into subsets. In magnetic systems, the distribution of polarities in a group is used as the key criterion, which meets the requirements of logic. The systems that are based on white-light observations use several characteristics of ARs simultaneously, which violates the logical rule of one basis. Secondly, the combination of classes should restore the sphere of the divided concept (all ARs). However, some CSs do not take into account important types of ARs (e.g., multipolar groups, unipolar spots, etc.). Thirdly, members of the division should be mutually exclusive. The systems employing redundant information about ARs usually violate this rule. Finally, classes should form a continuous chain. In some CSs, complex classes that precede simpler ones occur. In general, four of the nine CSs studied satisfy the logical rules: the Mount Wilson CS in its two modifications (the original Hale class and the United States Air Force Weather Agency version), Malde classification values, and the magneto-morphological classification of ARs developed at the Crimean Astrophysical Observatory. Understanding the logical features of each particular CS can be useful when working with long series of observations containing classification data and when studying individual ARs.

Key words: sunspots, magnetic configuration, flare productivity