

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМНЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ СОСТАВЛЕНИЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ПРОГНОЗОВ ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЙ ПЛАВАНИЯ

науч. сотр. Е.И.МАКАРОВ

ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, e-mail: john143@aari.ru

Рассматривается методология системного подхода при составлении специализированных прогнозов ледовых условий плавания. Ледяной покров Арктики рассматривается как открытая система с признаками самоорганизации, которые определяются как критические структуры ледовой среды судоходства. Описаны принципы отображения структурированной системы с помощью матрицы информационных элементов и сигнальной триады в системной ячейке. Приведен пример составления рабочей таблицы ледовых годов-аналогов для специализированного прогноза типа условий плавания в 2013 г.

Ключевые слова: ледовые условия плавания, самоорганизация систем ледяного покрова, критические структуры ледовой среды судоходства, отображение структур ледяного покрова, обучение по аналогиям.

Ледяной покров Арктики является существенным препятствием для судоходства. Известно, что путь вдоль «северного фасада» России является наикратчайшим морским путем из Европы в Азию. Однако на практике время, затраченное на этот путь, далеко не всегда меньше времени на путь южными маршрутами, оно зависит от ледовых условий конкретного года, месяца, декады, от которых, в свою очередь, зависят условия плавания.

В лаборатории изучения ледового плавания (ЛИЛП), созданной П.А.Гордиенко, было выделено направление специализированных ледовых прогнозов. Основная идея специализации ледовой прогностической информации базировалась на том, что судно, движущееся во льдах, является «естественным фильтром главных влияющих характеристик» среды судоходства. Особое значение такой подход приобретает при движении в предельных для данного класса судов ледовых условиях. Огромное число специальных судовых ледовых наблюдений позволило создать классификации комплексов ледовых условий плавания. В предельных для ледопроеходимости случаях такие комплексы могут быть представлены как критические структуры ледовой среды судоходства. Одним из примеров таких критических структур являются нарушения сплошности ледяного покрова (НСЛ). Протяженные НСЛ, ориентированные в направлении целевого пункта плавания, определяют успех при движении среди сморозей старого льда. Составление прогнозов НСЛ большой заблаговременности встречает определенные трудности. Обеспечение специализированной ледовой информацией этапа планирования морских операций в таких условиях предполагает составление сценариев эволюции критических структур среды судоходства на заданный период операций. Решение таких задач возможно с использованием подхода обучения по

аналогиям. Формально обучение по аналогиям – это получение классов объектов путем модификации описания, уже полученного для аналогичного класса объектов. Постановка задачи такова: дан «источник» аналогии – известные знания о некоторых объектах и их взаимосвязях; предметная область (с начальным описанием), знания о которой нужно получить. Например, такой предметной областью может быть тип нарушений сплошности ледяного покрова в Арктическом бассейне за конкретный период в выбранном году-аналоге. Необходимо найти отображение из «источника» в целевую область искомых знаний и описать результаты отображения. Другими словами, такие задачи решаются только подбором годов-аналогов ледовых условий плавания.

Выбор аналогов возможен при наличии системы специализированной классификации или типизации среды судоходства. Существующая система типизации ледовой среды судоходства успешно реализована в математической модели и алгоритмах программной реализации [Бузуев, 1982]. Однако для критических структур среды судоходства пока используются экспертные оценки. Применение теорий статистического оценивания и других математических методов в настоящее время не дали успешных решений этой специфической проблемы.

Развитие современной международной системы мониторинга ледяного покрова дистанционными методами зондирования с помощью искусственных спутников Земли, оснащенных многозональными микроволновыми датчиками, предоставляет возможность для изучения структурных комплексов ледяного покрова. В качестве методологической основы для решения проблем классификации критических структур среды судоходства был выбран синергетический подход. В научной среде стало обычным рассматривать ледяной покров как сложную открытую систему с признаками самоорганизации [Смирнов, 2011]. Обращаясь к понятию «система», необходимо договориться о терминологии, математическом аппарате, способах отображения предмета исследований. Понятийный аппарат может быть использован из теории свободных групп, геометрическим аналогом которой является теория графов [Бурбаки, 1972]. Достаточно распространено матричное описание систем и структур [Басин, 1986].

Однако наиболее привычным и в итоге более удобным оказывается табличное представление элементов системы. Проблемой табличного представления элементов системы является ее размерность. Размерность n природных систем не может быть менее четырех, потому что в природных системах любые ее элементы имеют три пространственные координаты x , y , z и одну временную t -координату. Четырехмерное фазовое пространство системы невозможно отобразить в двумерном пространстве таблицы. Правило свертки (понижения размерности) допускает снижение размерности системы на единицу. Таким образом, минимальной размерностью структурного элемента системы (системной ячейки) является триада ($n = 3$).

Самым впечатляющим примером применения триадного подхода является периодическая таблица химических элементов Д.И. Менделеева. В этой таблице атрибутом макроструктурных свойств является триада: ряд (порядковый номер) – группа – период. Триада микроструктурных свойств элементов периодической системы определяется формулой [Иванов, 1986]:

$$\Delta N = 2n^2, \quad (1)$$

где Δ – индекс порядкового номера элемента N в периодической таблице; n – главное квантовое число, определяемое рядом натуральных чисел $1, 2, 3, \dots$.

Для решения проблемы описания четырехмерного пространства событий в таблице элементов трехмерных отображений можно использовать известную формулу комбинаторики о числе размещений упорядоченного набора k элементов с повторениями из n элементов:

$$\bar{A}_n^k = n^k. \quad (2)$$

Методические основы триадного подхода для анализа и классификации систем природных объектов были сформулированы А.И.Ставицким [Ставицкий, 1995; Ставицкий, Никитин, 1997]. Им была разработана форма табличного представления любых четырехмерных процессов и пространств событий. Такая таблица была названа матрицей информационных элементов. Здесь под информационным элементом понимается отображение, зафиксированное любым способом (числа, символы, графика) в определенной ячейке таблицы. А.И.Ставицкий же выдвинул гипотезу о том, что любой природный объект можно условно представить в виде «сгустка энергии» – макрозаряда Q в трехмерном пространстве S и времени t , т.е. в четырехмерном пространстве с координатами x, y, z, t , которое используется в квантовой механике. Используя понятийный аппарат теории информации, он показал, что для отображения любого макрозаряда минимально требуется три вида сигналов Q_p, Q_s, Q_{st} . Сигнал Q_t отображает Q только по координате t , то есть является одномерным скалярным сигналом. Сигнал Q_s отображает форму или структурные характеристики макрозаряда, условно зафиксированные в пространстве вектором в координатах x, y, z . Сигнал Q_{st} выступает в виде пространственно-временного сигнала, обладающего как векторными, так и скалярными признаками. В математике такое «векторно-скалярное образование» рассматривается как тензорное поле. Сигнал Q_{st} может рассматриваться как на микро- так и на макроскопическом уровне в координатах четырехмерного пространства x, y, z, t . Геометрической интерпретацией макрозаряда Q является поверхность сферы, описываемая известной формулой:

$$S = 4\pi R^2. \quad (3)$$

Такой подход позволяет построить матрицу (таблицу), состоящую из информационных элементов (ИЭ) с участием всех трех разновидностей сигналов: Q_p, Q_s, Q_{st} . Допуская в формуле (2) $k = 3, n = 4$, можно получить необходимые и достаточные условия для построения простейшего варианта таблицы ИЭ (табл. 1).

Таблица 1

Численная таблица информационных элементов в триадном представлении

Группы																Периоды
0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	
0 0	0 1	0 2	0 3	0 0	0 1	0 2	0 3	0 0	0 1	0 2	0 3	0 0	0 1	0 2	0 3	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	
1 0	1 1	1 2	1 3	1 0	1 1	1 2	1 3	1 0	1 1	1 2	1 3	1 0	1 1	1 2	1 3	
17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	
0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	
2 0	2 1	2 2	2 3	2 0	2 1	2 2	2 3	2 0	2 1	2 2	2 3	2 0	2 1	2 2	2 3	
33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	
0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	
3 0	3 1	3 2	3 3	3 0	3 1	3 2	3 3	3 0	3 1	3 2	3 3	3 0	3 1	3 2	3 3	
49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	
Ряды аналогов																

В матрице ИЭ каждый элемент представлен в виде дроби. Числитель отображает триаду, составленную из различных значений числа k , включая и нулевое значение «0», расположенных в определенном порядке. Знаменатель является порядковым номером ИЭ. Число «0» предусмотрено для того, чтобы условно зафиксировать начало координат. Начало координат может выбираться произвольно, но во всех случаях обязательно, так как позволяет определить начало отсчета, необходимое в процессе решения практических задач.

При выбранном значении чисел k и n общее число ИЭ $N_u = 64$. В этой же таблице указаны основные признаки матрицы ИЭ в виде «групп», «периодов» и «рядов». Увеличение численных значений k и n приводит к увеличению числа элементов без нарушений условия подобия исходных уравнений (1, 2, 3). Таким образом, А.И.Ставицким реализована идея единого подхода к анализу и классификации любых природных объектов.

Первый положительный опыт применения сигнально-информационной триады А.И.Ставицкого был получен в 1997 г. в работе [Макаров, Фролов, 1997], в которой была выполнена первая классификация критических структур среды судоходства для ледоколов типа «Арктика» в Арктическом бассейне. В этой классификации впервые удалось выделить признаки самоорганизации системы НСЛ. Однако в тот период не использовалась системная модель выбора годов-аналогов в виде матрицы информационных элементов.

Для задач обучения по аналогиям табл. 1 преобразовывается следующим образом. Вместо порядкового номера ячейки таблицы должен быть подставлен хронологический номер года-аналога. Расстановка производится в хронологическом порядке. Позиционирование в первой ячейке таблицы конкретного года-аналога является прерогативой исследователя. Дальнейшая расстановка производится алгоритмически согласно последовательному возрастанию номера ячейки. Заметим некий субъективизм в определении первой ячейки, который является мерой неопределенности состояния любой системы и не может быть устранен. Это, однако, не вносит существенных искажений в результат классификации. Ниже приведена матрица информационных элементов для специализированного прогноза на 2013 г. (табл. 2). В этой таблице информационными элементами выступают конкретные годы-аналоги. Каждый год-аналог был отнесен к определенному типу условий плавания в летне-осенний период навигации. Для типизации был применен комплексный критерий трудности плавания по всей трассе Северного морского пути.

Таблица 2

Рабочая таблица групп годов-аналогов критических структур среды судоходства на 2013 г.

		Группы													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971
6	5	4	7	5	7	1	1	6	3	6	6	4	4	6	8
1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
8	6	8	3	8	4	8	1	8	1	6	6	7	7	8	5
1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
8	4	7	5	5	5	8	2	8	7	8	7	7	5	2	8
2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013*						
5	2	7	5	7	7	6-3	2	3	3-6						

Ряды аналогов

Примечание: * – его структурным аналогом являются 1997, 2009, 2005 гг.

Таблица 3

Распределение годов-аналогов по типам летних навигаций, объединенных в классы (тяжелые, средние, легкие) по комплексным критериям ледовых условий плавания

Типы							
1	4	6	8	7	5	3	2
Классы ледовых условий							
Тяжелые			Средние		Легкие		
				2009			
				2008			
				2006			
				2000			
			2003	1999			
			1998	1997			
			1996	1990			
		2010	1994	1985	2007		
		1983	1988	1984	2004		
		1982	1986	1971	2001		
		1973	1980	1961	1993		
	1989	1970	1978	1959	1992	2013*	
1981	1977	1967	1976	1955	1991	2012	2011
1979	1969	1966	1974	1953	1987	1975	2005
1963	1968	1964	1972	1952	1960	1965	2002
1962	1958	1956	1954	1951	1957	1954	1995

Примечание: * – его структурным аналогом являются 1997, 2009, 2005 гг.

Использование рабочей таблицы, годов-аналогов позволило определить тип распределения критических структур в навигации 2013 г. (табл. 3).

Эффективность предлагаемого системного подхода заключается в формализации процедуры подбора годов-аналогов на предстоящий период навигации. Анализируя представленные таблицы, можно сделать вывод о том, что аномально легкие условия ледового плавания в Арктике начинают переходить к средним ледовым условиям плавания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Басин М.А. Синергетика – волновой подход к исследованию открытых структур и систем // Проблемы ноосферы и устойчивого развития: Материалы первой международной конференции. СПб.: Изд-во СПбГУ, 1996. С. 104–107.

Бурбаки Н. Элементы математики. Группы и алгебры Ли. М.: Мир, 1976. 496 с.

Иванов Б.Н. Законы физики. М.: Высшая школа, 1986. 101 с.

Макаров Е.И., Фролов С.В. Проблема специализированного гидрометеорологического обеспечения высокоширотного судоходства во льдах Арктики и реалии ее решения // Проблемы Арктики и Антарктики. 1997. № 71. С. 129–147.

Спутниковые методы определения характеристик ледяного покрова морей / Под ред. В.Г.Смирнова. СПб.: ААНИИ, 2011. 240 с.

Ставицкий А.И. На пути к искусственному интеллекту: Новые принципы передачи и обработки информации с позиции единого информационного поля. СПб.: ИНТАН, 1995. 134 с.

Ставицкий А.И., Никитин А.Н. На одном языке с природой. СПб.: ИНТАН, 1997. 137 с.

E.I.MAKAROV

**APPLICATION OF SYSTEMIC METHODS
TO PRODUCE SPECIALIZED ICE FORECASTS**

The author consider the methodology of the system approach when making specialized ice forecasts. Ice cover of the Arctic is regarded as an open system with signs of self-organization. Signs of self-organization are identified as critical structures ice protection of shipping. Describes how to display a structured system using a matrix of information elements and the signal of the triad in the system cell. An example of the drafting table's ice-analogues forecast for specialized type of sailing conditions in 2013.

Keywords: ice conditions of navigation, self-organization of systems of the ice cover, critical structures ice environment of navigation, mapping structures of the ice cover, training on analogies.