

### Выводы.

Сопоставление аномального поведения векторов индукции с сейсмическим режимом Закарпатья позволило выявить особенности аномальных изменений в зависимости от локализации эпицентров близких землетрясений, а для сильного землетрясения в районе МО «Иркутск» ( $M=6.2$ ), в отличие от слабых землетрясений Закарпатья, наблюдалась аномалия предвестникового типа.

Использование системы информационного мониторинга векторов Визе позволяет анализировать их временные изменения для коротких реализаций. Использование данной системы для анализа данных ряда геомагнитных станций позволило надежно обнаружить сезонные, суточные закономерности поведения векторов, а также особенности, характерные для отдельных станций. Например, для векторов индукции, рассчитанных по данным японских обсерваторий характерным является увеличение дисперсии компоненты В в летний период, особенно для МО «Какиока» и «Каноя», что существенно усложняет сопоставление их аномального поведения с сейсмичностью.

Данные магнитовариационных наблюдений на обсерваториях взяты на сайте INTERMAGNET, ([www.intermagnet.org](http://www.intermagnet.org)).

### Литература

1. Chen P. F. A search for correlation between time change in transfer functions and seismic activity in North Taiwan// J. Geomagn. Geoelectr. - 1981.- 33, N 12.- p.635- 643.
2. Zeng X.P., Lin Y.F. et al. Study on electric variations of media in epicentral area by geomagnetic transfer functions //Acta Seismologica Sinica.- 1995.-V.8, No.3.- pp.413-418.
3. Xiaoping Zeng, Yunfang Lin, Chunrong Xu, Ming Zhao, Yuechen Zhao Manual on the forecasting of natural disasters: Geomagnetic methods.- Beijing, 1985.- 147 p.
4. Тектоническая карта Украинских Карпат. М-6 1:200000 / Редакторы Глушко В.В., Круглов С.С. 1986.
5. Климкович Т.А., Городыский Ю.М., Кузнецова В.Г., Максимчук В.Е. Результаты непрерывных исследований временных изменений векторов индукции в Закарпатском сейсмоактивном прогибе // Геодинамика 1(6). – 2007. – С. 41-49 (укр.)
6. Городыский Ю.М., Кузнецова В.Г., Максимчук В.Е., Климкович Т.А. Некоторые результаты анализа временных изменений векторов Визе в сейсмоактивном Закарпатском прогибе по данным цифровых магнитовариационных наблюдений и проблемы обработки этих данных // Тезисы докладов IV Международной научной конференции “Мониторинг опасных геологических процессов и экологического состояния среды”, 9-11 октября 2003 года, Украина, Киев, с.61-63 (укр.)
7. Климкович Т.А., Городыский Ю.М., Кузнецова В.Г., Максимчук В.Е. Исследования временных изменений параметров векторов индукции в Закарпатском сейсмоактивном прогибе // Геофизический журнал.-2009,- т.31, №6.- С.147-153 (укр).

### МЕТОДЫ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ (РО) В ИССЛЕДОВАНИИ СЛОЖНЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ (СГО) PATTERN RECOGNITION METHODS (PR) IN INVESTIGATION OF THE COMPLEX GEOPHYSICAL OBJECTS (CGO)

И.В.Ковалевский

Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн  
им. Н.В.Пушкова РАН, [jkoval@izmiran.rssi.ru](mailto:jkoval@izmiran.rssi.ru)

*The work is devoted to questions of comprehensive (theoretical and empirical) investigations of such complex geophysical objects as the geomagnetospheric storms (GMS), the earthquakes (EQ), and the separate geological objects (SGO) by means of modern scientific methods. A distinguishing characteristic of the investigation of those geophysical objects is that the data on studied objects processes are getting in different space-time regions by sets of different instruments and apparatus. The data are processed a great variety of methods. The complexity of investigated CGO requires address to a new methodological approach – system approach (SA), setting a plan for scientific investigation of studied complex CGO as integrity in which the set of processes of different modality is considered as tight interconnected complex in space and in time. In system analysis of CGO we have used a pattern recognition methods, which include the sequential and cluster analysis, and which are most adequate to system methodological arrangements. The essence of a new approach is demonstrated on example of the GMS of August 27, 1978 with  $D_{st}=-226$  nT. The GMS is considered as complex interconnected set of 29 physical processes in the interplanetary-geomagnetosphere system. An application of this new approach*

based on PR in analysis of data of the EQ and of complex geophysical monitoring of SGO is discussed. It is pointed out principal moments drawing nearer the state of the affairs in these fields (EQ and SGO) of science and the state of the affairs in GMS physics.

**Введение.** Сложность таких изучаемых явлений, как геомагнитосферные бури и суббури (характеризуемые сложным, неоднородным комплексом взаимосвязанных физических процессов) требует обращения к новому методологическому подходу - системному подходу (СП), базирующемуся методически на теории распознавания образов (РО), поскольку их исследование методами классического научного подхода, т.е. классическими методами математической статистики, имеет существенные ограничения. В этой новой методологии на первый план выходит изучение сложного физического явления как целостного, в котором совокупность изучаемых процессов различной модальности (механической, электромагнитной и т.п.) рассматривается как тесный взаимосвязанный комплекс как в пространстве, так и во времени ( в различные фазы его развития) [1]

Учитывая воздействие больших геомагнитосферных бурь (ГМБ) на технологические системы и нерешенность ряда вопросов физики этих явлений [1, 2], продемонстрируем некоторые возможности методов распознавания образов на примере анализа очень большой бури 27-30.08.1978 г. ( $D_{st}=-226\text{нТ}$ ), например, установления наиболее существенных причинно-следственных связей с целью выделения наиболее геоэффективных параметров, выбора и построения физических моделей рассматриваемого события с последующим возможным их использованием для прогноза. Анализ проводится на основе изучения дендритной структуры как всей ГМБ в целом, так и отдельных ее фаз, уделяя особое внимание главной фазе.

Системный подход, аналогичный ГМБ, может быть распространен (при соответствующей его модификации) на анализ имеющихся данных о землетрясениях (ЗТ) и данных, полученных при осуществлении комплексного геофизического мониторинга отдельных геологических объектов.

**Краткая характеристика секвентно-кластерного анализа совокупности признаков.** Особую ценность методы РО, включающие в себя секвентный и кластерный анализы (СКА) [1], приобретают при исследовании очень больших (ОБ) геомагнитосферных бурь (коей является буря 27-30.08.1978 г.) из-за ограниченности числа такого типа событий, а, следовательно, невозможности получить надежные результаты на основе обычных методов классической статистики. Использование СКА признаков частично позволяет преодолеть эту трудность.

Для характеристики индивидуальных особенностей ГМБ, отражающих уникальность события, использовался набор из  $N=29$  параметров (элементарных процессов выступающих в роли 'функциональных элементов'), из которых 13 исходные (измеряемые) и 16 - «производные», сформированные для физической интерпретации. К исходным относятся  $V$ ,  $n$  и  $T$  (скорость, концентрация и температура протонной компоненты солнечного ветра), полная величина  $B$  и компоненты  $B_x$ ,  $B_y$ ,  $B_z$  ММП, углы ориентации  $\varphi_B, \theta_B$  ММП, дисперсия  $\sigma_z$   $B_z$ -компоненты,  $D_{st}$ , AE- и AL-индексы геомагнитной активности (ГА). В качестве «производных процессов», сформированных с целью физической интерпретации различных аспектов ГМБ [2], взяты:  $V^2$ ,  $P = nV^2$ ,  $nV^3$ ,  $B_T^2 = B_Y^2 + B_Z^2$ ,  $E_Y = VB_Z$ ,  $E_Z = VB_Y$ ,  $E_T = VB_T$ ,  $E_{\sigma_z} = V(\sigma_z - B_Z)$ ,  $E_S = VB_S$ ,  $V^2B_S$ ,  $F_M = VB_S(m_p nV^2)^{1/3}$ ,  $\varepsilon_{CF} = VB^2 \sin^4(\theta/2) \cdot I_{CF}^2$ ,  $F_P = B^2 |\sin^3(\theta/2)| / \sqrt{n}$ ,  $DR = (2/3D_{st} - 0.02V\sqrt{n} + 20)$ ,  $FEM = dDR/dt + DR/\tau_R$ ,  $U_T = -4 \cdot 10^{20}(dDR/dt + DR/\tau_R) + 3AE \cdot 10^{15}$  (эрг/сек), где  $B_S = B_Z$  при  $B_Z < 0$  и  $B_S = 0$  при  $B_Z \geq 0$ ,  $m_p$  -масса протона,  $\theta = \arctg(|B_Y/B_Z|)$  при  $B_Z \geq 0$  и  $\theta = 180^\circ - \arctg(|B_Y/B_Z|)$  при  $B_Z < 0$ ,  $I_{CF} = (M_D^2/4\pi m_p nV^2)^{1/6}$ ,  $M_D = 8,6 \cdot 10^{25} \text{Гс} \cdot \text{с м}^3$ ,  $\tau_R$  -постоянная распада кольцевого тока,  $FEM = FEM_6$  при  $\tau_R = 6$  ч. Эти 29 элементарных процесса достаточно полно описывают состояние ГМБ как системного комплекса. Ведущим опорным физическим процессом была  $D_{st}$ -вариация геомагнитного поля на основе которой производилось разбиение всего сложного явления ОБ ГМБ на фазы: фон (Ф), начальная фаза (НФ), главная фаза (ГФ) – резкое понижение  $D_{st}$ -индекса, фаза восстановления (ФВ). Полный период (ПП) составлял 64 ч. Минимум  $D_{st}^M$  приходился на 25 точку. Исходные данные взяты из [3, 4].

29 процессов на каждой отдельной фазе ГМБ и для ПП анализировались методами кластерного анализа с контролем надежности результатов на основе использования секвентного анализа. Суть методики сводится к следующему. Сначала все процессы  $f(t)$ ,  $g(t)$  (параметры) масштабируются, нормализуются ( $\hat{f}(t)$ ,  $\hat{g}(t)$ ) для уменьшения эффектов разнородности данных. Затем вводится понятие «типового» расстояния между нормированными процессами

$$\hat{d}_{fg} = \frac{1}{4} \int_0^1 [\hat{f}(t) - \hat{g}(t)]^2 dt \quad (\text{за общее время процесса принята реализация в 64 часовых средних}$$

данных). На базе этих  $\hat{d}_{fg}$ , посчитанных между всеми  $f(t)$ ,  $g(t)$  (полный набор из  $N(N-1)/2$  - расстояний), выделяется совокупность с  $(N-1)=28$  минимальных  $\hat{d}_{fg}$  («метод ближайшего соседа») между 29 процессами, которая графически представляется в виде дендритной структуры. Устойчивость дендритной структуры контролируется дополнительными расчетами тех же данных при использовании некоторой грубой модификации расстояния  $\hat{d}_{fg}$  (фильтрация), получаемой посредством разложения процессов  $\hat{f}(t)$  и  $\hat{g}(t)$  по системе базисных функций Уолша - метод секвентного анализа. Один из вариантов «огрубления» процессов состоял просто в переходе на данные, усредненные за два часа. В более сложных вариантах усреднение было неоднородным и включало интервалы усреднения от одного до четырех часов. Такую структуру процесса назовем крупномасштабной. Анализ дендритных структур сводился к выделению групп (кластеров), наиболее тесно связанных параметров (процессов), и представлению в форме дендрограмм.

На дендрограмме отражаются результаты последовательного анализа дендрита посредством указания порядка, в котором разрываются взаимосвязи между процессами (S1 - наибольшее  $\hat{d}_{fg}$ , наиболее независимые группировки параметров, S2 - следующие по величине  $\hat{d}_{fg}$  и т.д.). Таким способом выделяются относительно независимые совокупности тесно взаимосвязанных процессов.

Далее, сам факт сохранения тесного кластера из различных процессов требует адекватной интерпретации, какого-либо объяснения. Этого можно достичь, если наряду с первичными эмпирическими процессами использовать «теоретические», т.е. хорошо интерпретируемые процессы, представляющие собой сложную аналитическую зависимость от первичных процессов или вообще взятые из математической модели. Тогда постоянное присутствие в тесном кластере процессов такого «теоретического процесса» создает прочную основу для интерпретации полученных результатов и дальнейшего продвижения в построении теоретических моделей явления в целом.

В настоящей работе в качестве расстояния между двумя заданными процессами -  $f(t)$  и  $g(t)$  ( $0 \leq t \leq T$ ), выражаемое через пирсоновский коэффициент корреляции  $r$ , нами использовалось расстояние типовой коррелированности - ИТIP2

$$d_{TC} = \sqrt{1 - r^2}; (r = \pm 1, \rightarrow d_{TC} = 0). \quad (1)$$

Коэффициент корреляции  $r$  между  $f(\tau)$  и  $g(\tau)$  на интервале  $0 \leq \tau \leq 1$  ( $\tau=t/T$ ) задается в виде:

$$r = \left[ \int_0^1 f(\tau)g(\tau)d\tau - \bar{f} \cdot \bar{g} \right] / \sigma_f \sigma_g = \left( \overline{f \cdot g} - \bar{f} \cdot \bar{g} \right) / \sigma_f \sigma_g, \quad (2)$$

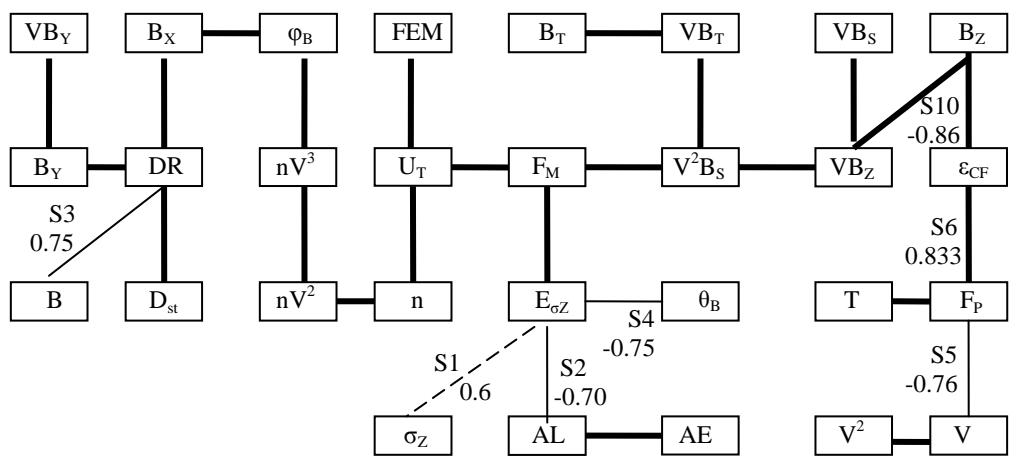
где

$$\bar{f} = \int_0^1 f(\tau)d\tau, \bar{g} = \int_0^1 g(\tau)d\tau, \overline{f \cdot g} = \int_0^1 f(\tau)g(\tau)d\tau, \sigma_f^2 = \int_0^1 f^2(\tau)d\tau - (\bar{f})^2, \sigma_g^2 = \int_0^1 g^2(\tau)d\tau - (\bar{g})^2;$$

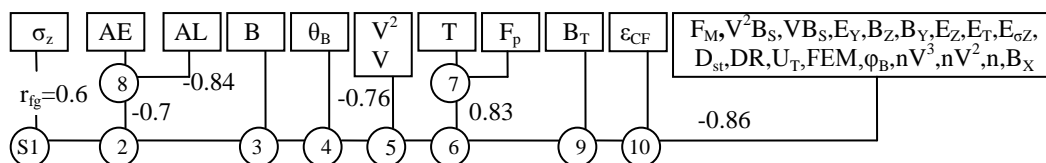
$\bar{f}, \bar{g}$  - средний уровень процесса;  $\sigma_f, \sigma_g$  - средние разбросы  $f, g$  относительно  $\bar{f}, \bar{g}$  в анализируемом временном интервале.

Достоинством расстояния (1) является то, что его можно применять для процессов различной природы, разных размерностей.

В силу ограниченности объема доклада, обратимся к рассмотрению лишь ГФ ГМБ 27.08.1978 г., т.е. сущностной фазы бури по данным точных дендрита и дендрограммы (Рис.1).



а) Дендрит (ГФ, точный)



б) Дендрограмма (ГФ, точная)

Рис.1. Дендриты и дендрограммы ОБ ГМБ 27-29 августа 1978 г.

С целью выявления надежных диагностически ценных параметров (ДЦП) кластеризация дендрита ГФ осуществлялась до шага (Sn), на котором выполнялось условие между соседними процессами  $|r_{fg}| \geq 0.8$ . Сравнение с грубыми дендритом и дендрограммой говорит об их относительной устойчивости. Сопоставление дендрограмм НФ и ГФ свидетельствует о наличии существенных изменений структуры процессов. Это проявляется, прежде всего, в увеличении компактности дендритной структуры (Рис.1), а также в дендрограмме кластера шага S10 (см. Рис.1), в котором произошло объединение ведущих геомагнитосферных процессов ( $D_{st}+DR+FEM+U_T$ ) с рядом межпланетных параметров. Их развитие определяется прежде всего группой параметров ( $B_Y+E_Z+B_X+\phi_B+n+nV^2+nV^3$ ) ( $|r| \approx 0.81-0.97$ ), а также, хотя и в меньшей степени, связкой параметров ( $B_Z+E_Y+E_{\sigma_Z}+B_S V+B_S V^2+F_M$ ). Таким образом, для процессов  $D_{st}$ , DR и FEM в качестве ДЦП в период ГФ можно использовать, по крайней мере, семь параметров ( $B_Y+E_X+B_X+\phi_B+n+nV^2+nV^3$ ). Нетривиален параметр  $B_X$ . А если принять во внимание геоэффективность группировки ( $B_Z+E_Y+E_{\sigma_Z}+B_S V+B_S V^2+F_M$ ), а также некую геоэффективность параметров  $\epsilon_{CF}$ ,  $B_T$ ,  $F_p$  то число ДЦП существенно увеличивается. Мы сталкиваемся с проблемой поиска репрезентанта. Параметры последней группировки наиболее геоэффективны для процесса FEM, причем наибольший коэффициент корреляции у связи  $r(FEM, F_M)=0.92$ . Геоэффективность связи ( $B_S V, B_S V^2, F_M$ ) с DR и  $D_{st}$  ослабевает.

Обратим внимание на факт изолированности в дендрограммах ПП и ГФ (при высоком уровне кластеризации) процессов (AE, AL), тем не менее, их активность в обоих случаях определяется параметром  $E_{\sigma_Z}$  (в ГФ  $r(AL, E_{\sigma_Z})=-0.7$ , Рис.1).

Нельзя не отметить для данного события наличие слабой связи в ГФ между  $D_{st}$  и DR с AE и AL. В другие фазы она повыше. Наибольшая в фоновую фазу. Однако по полному периоду она на уровне  $r \approx 0.5$ .

Обсуждены перспективы этих подходов, базирующихся на РО, в анализе данных землетрясений и комплексного геофизического мониторинга отдельных геологических объектов.

Отмечены принципиальные моменты, сближающие состояние дел в этих областях науки (ЗТ и ОГО) [5, 6] и состоянием дел в физике геомагнитосферных бурь [1, 2]. Подчеркивается главное достоинство предлагаемого подхода. Оно состоит в том, что процессы самой различной природы не только могут быть рассмотрены на единой основе, но и в принципе – привести к реконструкции СГО, например, землетрясений как сложного физического явления на базе развитой техники дендритного или дендрограммного представления взаимосвязанных процессов, подобно тому, как это удалось сделать для геомагнитосферной бури. Тем самым может быть осуществлена постановка прогноза ЗТ на основе всего комплекса имеющихся данных и их взаимосвязей.

Таким образом, эти методы являются исключительно мощным инструментальным средством, позволяющим одинаково решать круг самых разнообразных проблем при обязательном условии предварительного представления исследуемых объектов в виде систем того или иного рода и последующего их логического и исторического анализа.

#### Литература

1. Ковалевский И.В., Морозов Ю.И. Методы распознавания образов в анализе сложных физических явлений. М.: ИЗМИРАН, 1989, 260 с.
2. Gonzales W.D., Joselyn J.A., Kamide Y., Kroehl H.W., Rostoker G., Tsurutani B.T. and Vasulinas V.M. What Is a Geomagnetic Storm? *J. Geophysical Research*, Vol. 99, pp. 5771-5792, 1994.
3. Kamei T. and Maeda H. Auroral Electrojet Indices (AE) for Jule-December 1978. Data Book N4. WDC-C2, Kyoto, Japan, 1981.
4. King J. H. Composite Interplanetary Magnetic Field and Plasma Tape. -SM- 41B, NSSDC-A, Greenbelt, USA, 1979.
5. Долгосрочный прогноз землетрясений (методические рекомендации) // Под ред. М.А.Садовского. М.: Наука, 1986, 128 с.
6. Хмелевский В.К. ЭКОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИКА. Сборник материалов. М., 1995.

### ОТКЛИК ГРОВОЙ АКТИВНОСТИ В ДАННЫХ ЯКУТСКОГО НЕЙТРОННОГО МОНИТОРА THE RESPONSE OF STORM ACTIVITY IN THE DATA OF THE YAKUT NEUTRON MONITOR

В.И. Козлов, В.А. Муллаяров, С.А. Стародубцев, А.А. Торопов, Л.В. Тимофеев  
Институт космических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера СО РАН, г.  
Якутск

E-mail: [v.kozlov@ikfia.ysn.ru](mailto:v.kozlov@ikfia.ysn.ru)

*Experimental data of speed of the account of the neutron monitor at station «Yakuts cosmic ray spectrograf of A.I. Kuzmin» (105 m over Sea level) are presented during passage the charged clouds over installation for a storm season of 2009 (May - August). Electric field variations are registered electrostatic fluxmeter manufactures RRI with a range of measurements  $\pm 50$  kV/m that during long increases ( $\sim 5$  hours) intensity weeding on the average on  $\sim 7$  kV/m concerning fair weather level are observed reduction of speed of the account of the neutron monitor on the average for 0,5 percent. The effect was observed and individually in all 12 days at which long change of electric field at passage the charged clouds was registered. At 6 events rather shorter increases ( $\sim 1$  hour) intensity weeding on the average on  $\sim 5$  kV/m concerning fair weather level also are observed reduction of speed of the account of the neutron monitor on the average for  $\sim 0,25$  percent in all events. The effect also was observed and individually in all 6 days.*

Представлены экспериментальные данные скорости счета нейтронного монитора на станции Якутский спектрограф космических лучей (КЛ) им. А.И. Кузьмина (105 м над уровнем моря) во время прохождения электрически заряженных облаков над станцией за грозовой сезон 2009 г. (май – август).

Для выявления предполагаемой теорией корреляции между электрическим полем и интенсивностью КЛ [1] и установленной различными авторами связи между космическими лучами (КЛ) и земным электрическим полем во время гроз [2,3] проведено сравнение данных вариаций электрического поля, зарегистрированных с помощью электростатического флюксметра, с данными спектрографа космических лучей (нейтронного монитора и мюонного телескопа). Для этого используются данные одновременных измерений спектрографа КЛ и электрического поля в Якутске.

Для измерения электрического поля использовался доработанный нами электростатический флюксметр EZ НМЛС 411124000 производства НИРФИ. Доработка состояла в