

*Н.К.Белишева, Е.З.Гак. Значение вариаций космических лучей для функционирования живых систем Сб. научных докл. VII Межд. конф. "Экология и Развитие Северо-Запада России" 2-7 августа 2002 г., Санкт-Петербург. С.118-129.*

## **ЗНАЧЕНИЕ ВАРИАЦИЙ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ ДЛЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ БИОСИСТЕМ**

**Н.К.Белишева\*, Е.З.Гак\*\***

*\*Полярно-Альпийский Ботанический Сад-Институт, КНЦ РАН, Апатиты*

*\*\*Агрофизический институт ЗФСХН, Санкт-Петербург,*

### **ВВЕДЕНИЕ**

В последние годы количество публикаций, посвященных солнечно-земным связям и воздействию «космической погоды» на земные процессы принимает лавинообразный характер. Как правило, в этих работах делается попытка выявить корреляцию между характером солнечной активности (СА), вариациями геомагнитного поля (ГМП), метеорологическими агентами и состоянием живых систем. Вместе с тем, геокосмические события, сопряженные с СА, проявляются также и в вариациях космических лучей (КЛ), которые существенным образом модулируют свойства атмосферы и определяют фоновые колебания уровня радиации у поверхности Земли. Однако изучение биоэффективности КЛ значительно отстает от изучения роли вариаций ГМП. Общие представления о значимости корпускулярной компоненты космических излучений содержатся в ряде работ [1, 2, 3]. Показана сопряженность вариаций вторичных нейтронов, отражающих уровень КЛ, и свойств воды [4, 5]. В отдельных исследованиях выявлена связь между состоянием биологических систем и вариациями КЛ. Так, в работе [6] обнаружено влияние колебаний естественного фона космической радиации и давления на вес новорожденных животных; в динамике корневых выделений найдена периодичность, связанная с атмосферным давлением, космической радиацией (протонные компоненты), и геомагнитной активностью [7]; выявлена связь динамики многолетней и сезонной адаптации физиологических процессов: электролитного баланса, ферментного и биохимического статуса, гематологических параметров с комплексами показателей солнечной активности, космических излучений, ионосферных процессов и геомагнитного поля [8]; косвенное подтверждение значимости фоновых вариаций КЛ получено в работах по изучению зависимости клеточного деления от вариаций естественного радиационного фона [9], а также при оценке биоэффектов малых доз радиации, сопоставимых с фоновыми значениями [9,10]. Но наиболее убедительные данные, свидетельствующие о роли КЛ для биосистем, были получены Фараоне [11]. Автору [11] удалось показать, что частота появления колоний бактерий с признаками, отклоняющимися от родительских штаммов, находится в противофазе с 11-летней СА и зависит от высоты над уровнем моря.

Незначительное число работ по изучению роли КЛ для биосистем неслучайно и обусловлено определенными методическими и экспериментальными трудностями. Во-первых, вариации КЛ сопряжены с вариациями ГМП, что делает порой невозможным выявление причинно-следственных связей. Во-вторых, данные по вариациям КЛ представляются в скорректированной форме (с учетом давления), что приводит к сглаживанию амплитуд колебаний ГМП. И если для вариаций ГМП характерен четкий рельеф ежесуточных колебаний, позволяющий сопоставлять его с ритмическими процессами в биосистемах, то для КЛ ежесуточные амплитуды колебаний столь незначительны, что некоторые авторы вообще не рассматривают КЛ как биоэффективные геокосмические агенты [2]. В третьих, экспериментальные подходы для имитации действия КЛ в лабораторных условиях доступны весьма ограниченному кругу исследователей, в отличие от установок по оценке биоэффективности электромагнитных полей (ЭМП). Поэтому, воспроизвести в эксперименте биоэффекты КЛ, выявленные с помощью статистических методов, представляется практически невозможным, что опять ставит изучение биоэффективности КЛ, по сравнению с действием ЭМП, в невыгодное положение.

В данной работе представлен материал, свидетельствующий о значении вариаций КЛ для состояния биосистем. Этот материал получен благодаря совпадению времени проведения экспериментов на клеточных культурах, растущих *in vitro*, (октябрь, 1989 г.) с уникальным геокосмическим событием [12], связанным с вторжением высокоэнергичных солнечных протонов (солнечных космических лучей –СКЛ) в околоземное пространство и резким увеличением уровня нейтронов у поверхности Земли (Ground Level Enhancement – GLE)

## Материал и методы

### Клеточные культуры

Биологические исследования проводили на фоновом геофизическом полигоне НИИФизики СпбГУ (66.3°с.ш., 33.7°в.д., о.Средний, Белое море, Чупинская губа, Республика Карелия) с 16 по 31 октября 1989 г.. В качестве объектов исследования использовали постоянные клеточные линии, растущие *in vitro*: линию L - трансформированные клетки подкожной соединительной ткани мышей (СЗН/An); линию СНО - трансформированные клетки яичника китайского хомячка; линию FHM - клетки хвостовой ткани гольяна (*Pimephales promelas*). Динамику состояния клеточных культур отслеживали на основании данных 6 серий последовательных независимых экспериментов, частично перекрывающихся во времени, по морфо-генетическим показателям: количеству многоядерных (PNC, %) и гигантских (GigC, %) клеток, а также по ДНК-синтетической активности, критерием которой служил % меченых <sup>3</sup>H-тимидином клеточных ядер [13,14].

### Геокосмические данные

Данные, характеризующие вариабельность ГМП, получены на материале полевых исследований на фоновом геофизическом полигоне НИИФизики СпбГУ с помощью аппаратного геофизического комплекса, в диапазоне частот от 0 до 1 Гц с амплитудой от 0,01 нТ (в секундном диапазоне периодов) до 2000 нТ (в часовом диапазоне периодов). В работе были использованы вариации Н-компоненты ГМП, оцененные с помощью gh-индекса (gh-index) [13, 14]. Данные нейтронного монитора (Neutron) были получены из обсерватории Полярного геофизического института (ПГИ) КНЦ РАН, г.Апатиты. Характеристика околоземного пространства в исследуемые периоды времени была получена из Мирового центра данных (МЦД).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Рассмотрим геокосмические события в октябре 1989 г.

### Солнечная активность

С 14 октября начала проявляться вспышечная активность Солнца. С 17 и по 29 октября в группе пятен наблюдалась серия вспышек различной интенсивности и длительности, в том числе, протонные вспышки (19 октября, 22 октября и 24 октября), продолжительность каждой из которых была более шести часов и сопровождалась мощными всплесками радиоизлучения метрового и дециметрового диапазонов, потоками рентгеновского излучения (Рис.1), интенсивными потоками протонов в диапазоне энергий 5-600 МэВ (Рис.2), а вспышка 19 октября еще и сильным ионосферным возмущением. С 19 октября и до конца месяца в диапазоне энергий 5-600 МэВ регистрировались мощные потоки солнечных протонов (Рис.2).

### Космические лучи

Максимальный уровень космических лучей (КЛ), зарегистрирован 19 (6538,8) и 24 октября с Форбуш-понижением 21 октября (Рис.3). Резкое возрастание уровня КЛ связано с протонными вспышками на Солнце – источниками солнечных космических лучей (СКЛ), вторжение которых в атмосферу Земли привело к скачкообразному увеличению нейтронного счета при нейтронном мониторе. Явления, связанные с резким возрастанием нейтронного счета при солнечных протонных вспышках наблюдаются чрезвычайно редко и называются GLE . Средний поток протонов КЛ с энергией  $E_p$  90 МэВ составил  $1,34 \text{ пр.см}^{-2}/\text{с}^{-1}$ . По ст. Апатиты (расположенной, практически, на той же широте, что и место проведения экспериментов) 20 октября в 17 UT отмечено начало Форбуш-понижения с максимальной амплитудой 21 октября в 12 UT - 15,3%; 26 октября начало в 06 UT и максимальной амплитудой 5,6%; 27 октября в 07

УТ (Рис.3,4). Значения нейтронного счета, отражающие основные моменты в вариациях уровня нейтронов, приведены в таблице 1.

### **Геомагнитная активность**

Начало экспериментов с клеточными культурами пришлось на исключительно спокойный геомагнитный период – 15 октября (среднее значение  $gH$ -индекса за сутки – 10 нТ). В вариациях ГМП в ночь с 18 на 19 октября зарегистрированы: малая планетарная магнитная буря с внезапным началом 18 октября в 00.49 УТ; 20-23 октября - очень большая буря с внезапным началом 20 октября в 09.15 УТ и тремя активными периодами, усиленными мощной вспышкой 19 октября в 12.58 УТ. 26-27 октября - малая буря с внезапным началом 26 октября в 14.28 УТ, источником которой была, вероятно, вспышка 24 октября в 18.31 УТ; 29-30 октября - малая буря. Локальная ГМА в месте проведения экспериментов отражена в динамике  $gH$ -индекса на рис. 4 и в таблице 1, где приведены значения  $gH$ -индекса на пиках.

### **Состояние клеточных культур**

В более ранних наших работах [13,14] была детально описана феноменология поведения клеточных культур в октябре 1989г. Нами был обнаружен феномен массового слияния клеток в культуре, критерием которого служил индекс многоядерности клеток (PNC). Образование многоядерных и гигантских клеток наблюдалось одновременно во всех клеточных линиях и сопровождалось реорганизацией генетического материала [15] с постепенным затуханием процесса морфо-генетических перестроек. Динамика наблюдаемых процессов была сопряжена с вариациями ГМП, однако причинно-следственная связь с геокосмическими событиями, столь необычного поведения клеток в культуре, не была установлена. Дополнительный материал и соответствующий анализ позволили расширить представление о масштабности геокосмического воздействия на живые объекты и оценить роль вариаций Кл для функционального состояния биосистем.

Следует подчеркнуть, что феномен массового слияния клеток, а также динамика морфогенетических изменений в трех клеточных линиях носили «когерентный» характер: т.е. возникали в одно и то же время и проявлялись в идентичной форме. В качестве примера, на Рис.5 приведены фотографии клеточных культур линий L, СНО и FHM при фоновых вариациях уровня нейтронного счета и ГМА (Рис. 5 А-1, Б-1, В-1), в период резкого возрастания уровня нейтронов у поверхности Земли (Рис.5 А-2, Б-2, В-2) и во время планетарной геомагнитной супер бури (Рис.5 А-3, Б-3, В-3). Клеточный монослой в спокойный период представлен достаточно однородными структурами во всех трех клеточных линиях (с учетом специфики каждой линии). В период резкого подъема нейтронного счета морфология монослоя становится крайне неоднородной: появляются локальные сгущения клеток, возникают многоядерные и гигантские клетки, связанные с клеточным слиянием, во время планетарной геомагнитной бури образуются фокусы агрегации клеток.

Динамика интенсивности процесса слияния клеток в линиях L, СНО и FHM, выраженная в ходе кривых индекса PNC, отражена на Рис.6 и в таблице 2. Данные для этого графика были получены по результатам 6-ти независимых экспериментов, проведенных при фоновых вариациях уровня нейтронов и ГМА; во время солнечных протонных событий и экстремальном возмущении ГМП. Для демонстрации “когерентности” хода индекса PNC в трех линиях, на графике кривые даны в «расслоении», т.е. разнесены по высоте. В спокойный геомагнитный период при фоновых вариациях уровня нейтронов (КЛ) среднее значение индекса PNC для клеточных культур линий L, СНО, FHM составило 1.5, 8.2, 8.5 (%), соответственно.

С 18 октября (22:30 UT, 72 ч. от начала эксперимента ) начала возрастать ГМА и в этот же период отмечено первое возрастание индекса PNC, по сравнению со спокойным периодом. Для клеток линии L, CHO, FHM он возрос в 2,5, 1,4, 1,8 раза, соответственно. Увеличение числа

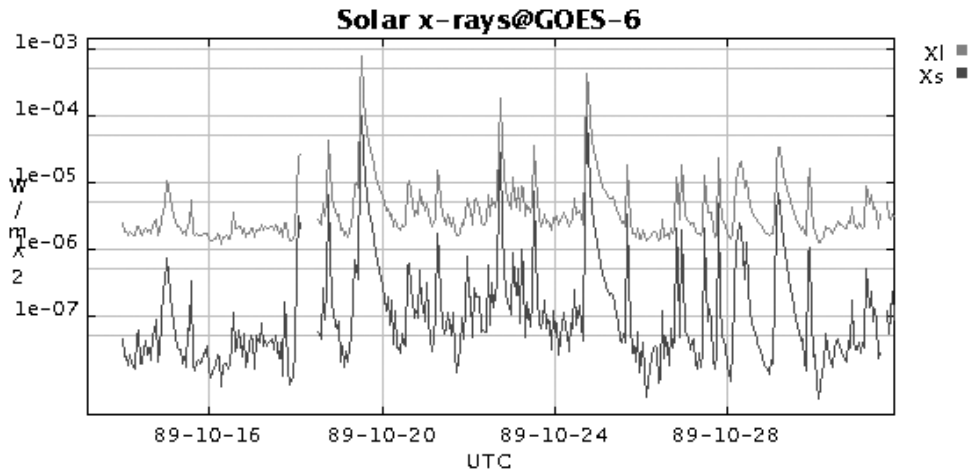


Рис. 1

Вариации рентгеновского излучения в околоземном пространстве, зарегистрированные на геостационарной орбите спутником GOES-6 в октябре 1989 г.

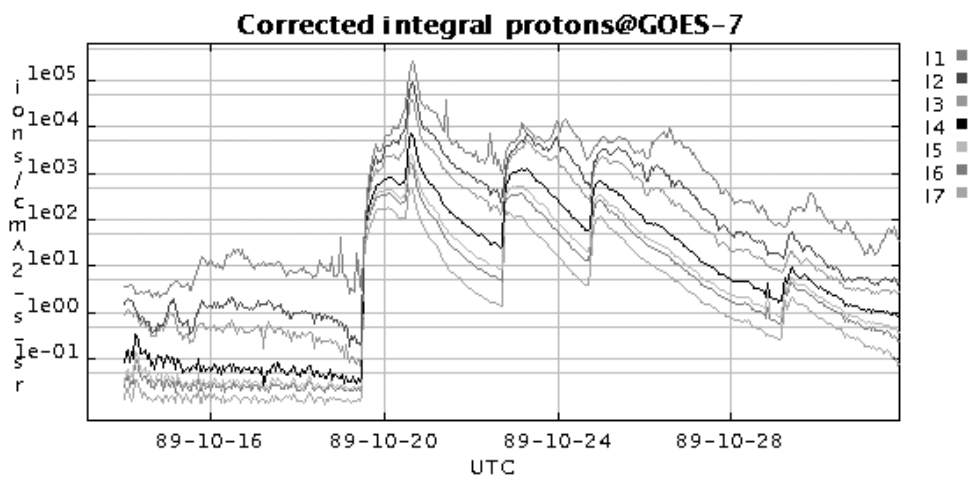


Рис. 2

Интегральный поток высокоэнергичных протонов в околоземном пространстве, зарегистрированный на геостационарной орбите спутником GOES-7 в октябре 1989 г.

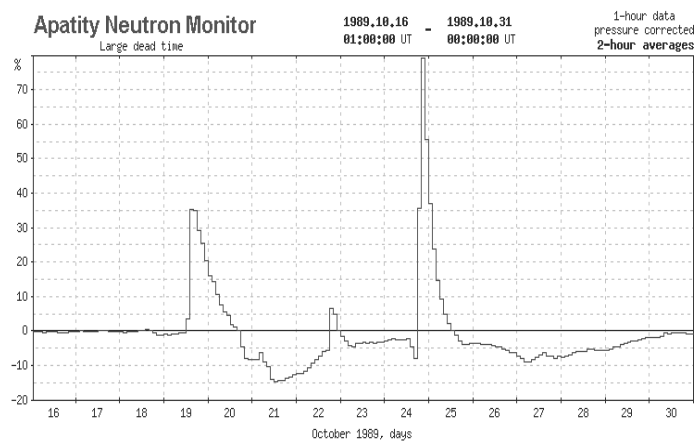


Рис. 3

Нейтронный монитор на ст. Апатиты в октябре 1989 г.

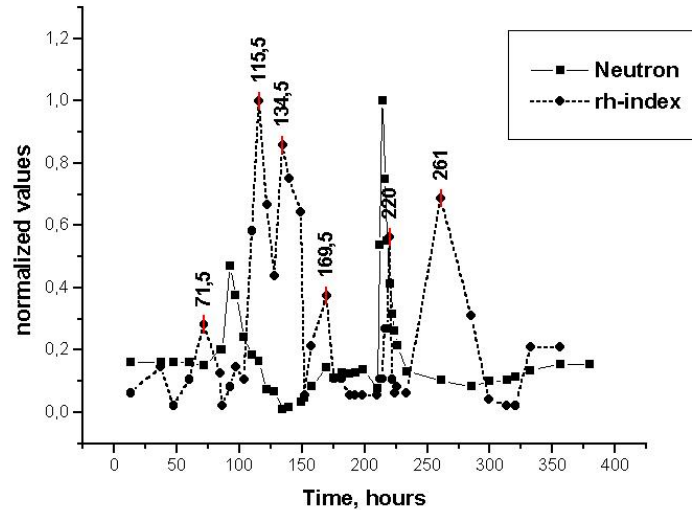


Рис.4

Вариации нейтронного счета (Neutron) и локальной ГМА (rh-index) во время проведения экспериментов, октябрь 1989 г. По оси абсцисс – время от начала экспериментов (15 октября, 22:30 UT), по оси ординат – нормированные значения. Цифры над кривой rh-индекса обозначают время существенного возрастания ГМА, двум главным пикам подъема счета нейтронов соответствуют 115,5 ч и 214 ч.

### Основные значения нейтронного счета (Neutron) по ст. Апатиты и локального rh-индекса (нТ), отражающие главные события в октябре 1989 г.

Таблица 1

Дата Октябрь. 1989 г.	Время, UT	Время от начала эксп., ч	Neutron	rh-index
1810	22:25	71,5	1051	150
1910	18:30	92,5	1370	44
2010	17:30	115,5	1064	>533
2110	12:30	134,5	908	458
2310	0:00	169,5	1045	200
2410	20:00	214	1900	57
2510	2:00	220	1313	300
2610	19:30	261	1002	366

Увеличение числа многоядерных клеток происходило скачкообразно и было обнаружено в двух независимых, частично перекрывающихся экспериментах, в одно и то же время. В дальнейшем наблюдалось постепенное возрастание индекса PNC, который к концу суток 19 октября для клеток линий L, СНО, FHM увеличился уже в 9,7, 1,9, 2,9 раза, соответственно, по сравнению с фоновыми значениями (таблица 2).

Второй пик подъема индекса PNC (20 октября, 17:35 UT, 115,5 ч от начала экспериментов) совпал с уникальным событием – планетарной геомагнитной супербурей, приходом основного фронта высокоэнергичных солнечных протонов в околоземное пространство и началом

Форбуш-понижения. В этот период индекс PNC для клеток линий L, CHO, FHM был увеличен относительно фоновых значений в 9,1, 3,8, 3,1 раза, соответственно.

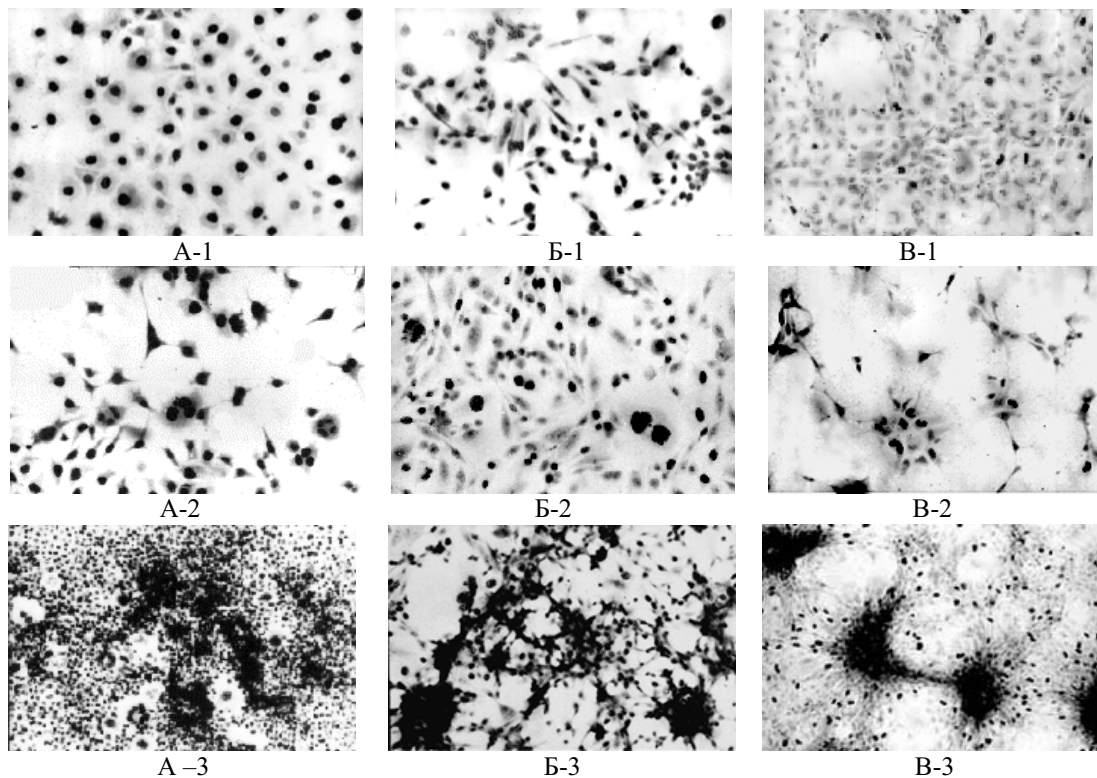


Рис. 5

Морфогенетические эффекты в клеточных культурах линий L(A-1,2,3), CHO(Б-1,2,3), FHM(В-1,2,3) при фоновых значениях вариаций уровня КЛ и ГМА 18 октября 1989 г.(А-1, Б-1, В-1), во время протонных солнечных событий (СКЛ) с первым подъемом уровня нейтронов у поверхности земли 19 октября (А-2, Б-2, В-2) и во время планетарной геомагнитной супер бури 21-23 октября (А-3,Б-3, В-3). А-1,2; Б-1,2; В-1: Ок. 10х, об. 40х; В-2 ок 15х, об. 40х; А-3, Б-3 ок.10, об.20х; В-3 ок.15х, об. 20х.

Сопряженность феномена массового слияния клеток с вариациями КЛ - высокоэнергичных солнечных протонов (СКЛ) с наземными событиями (GLE) – возрастанием уровня нейтронов, показана на Рис.7. Этот рисунок взят из статьи [16], в которой отражены описываемые события. Мы нанесли на него маркеры (I, II, III, IV, V-VI), соответствующие определенным этапам в динамике состояний клеточных культур.

**Возрастание уровня многоядерных клеток (PNC) в культурах линий L, CHO, FHM, относительно фоновых значений, на разных сроках культивирования**

Таблица 2

Номер событий	Дата: число, месяц (октябрь, 1989 г.)	Часы от начала эксперимента: 15 октября, 1989 г., 22:30 UT	Время фиксации препаратов, UT	Увеличение показателя PNC в культурах клеток относительно фоновых значений, принятых за единицу			
				Линия L	Линия CHO	Линия FHM	Уровень достоверности событий
I	1910	92,5	18:30	9,7	1,9	2,9	$p \leq 0,05$
II	2010	115,5	17:35	9,1	3,8	3,1	$p \leq 0,05$
III	2210-2310	152-192,5	06:00-23:00	3,9-8,0	1,3-1,7	1,3-5,9	
IV	2510	233,5	16:00	8,4	2,1	4,9	$p \leq 0,05$
V	2810	299,5	10:00	4,5	1,2	4,7	
VI	3110	380,5	19:00	2,1	1,4	1,8	

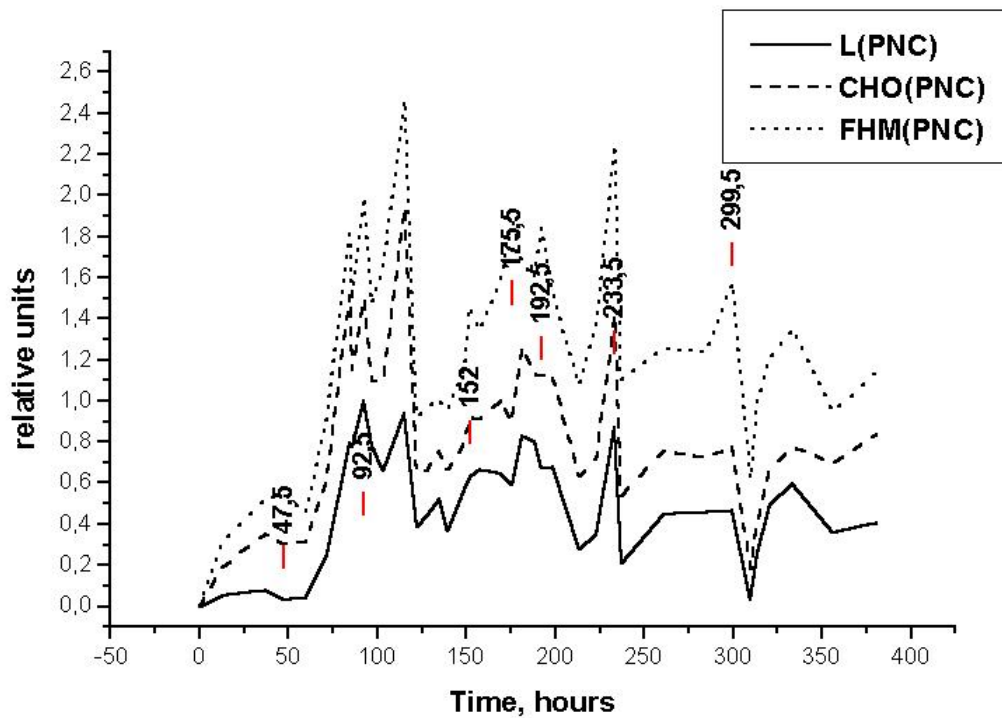


Рис. 6

Динамика индекса многоядерности клеток (PNC) в культурах линий L, CHO, FHM в октябре 1989 г. По оси абсцисс – время (ч.) от начала эксперимента (15 октября, 22:30 UT). По оси ординат – относительные единицы. Цифры на графике – время (ч.) фиксации препаратов, соответствующее подъему индекса PNC (маркировано по линии FHM).

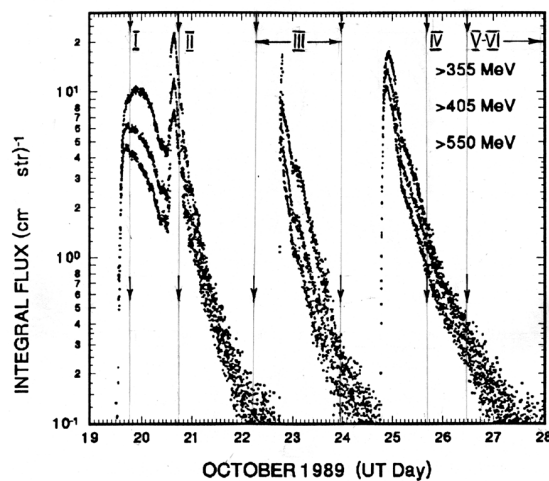


Рис. 7

Интегральный поток высокоэнергичных солнечных протонов, измеренных на спутнике GOES в период уникальных событий, связанных с солнечной активностью и энергичными протонами в октябре 1989 г. Стрелками обозначены события, соответствующие пикам на кривой динамики индекса многоядерности клеток (PNC). Римскими цифрами – номера событий, отраженных в динамике индекса PNC.

Эти этапы приведены в таблице 2. I и II события связаны с высокими значениями индекса PNC во всех клеточных линиях, III – со значительными колебаниями показателей во всех 3-х клеточных линиях, IV – с новым подъемом индекса PNC, V – VI с постепенным его снижением. Эти же этапы отразились в коэффициентах корреляции индекса PNC в 3-х клеточных линиях, рассчитанных по каждому эксперименту отдельно (таблица 3).

### Коэффициенты корреляции индекса PNC в линиях L, CHO, FHM в 6-ти независимых экспериментах с нейтронами (Neutron) и gh-индексом.

Таблица 3

№№ экспериментов и суммарный коэффициент	Коэффициенты корреляции индекса PNC (и уровни достоверности) с нейтронами в 3-х клеточных линиях					
	Линия L		Линия CHO		Линия FHM	
1	0,874	p≤0,05	0,889	p≤0,05	0,441	
2	0,615	p≤0,05	0,211		0,578	p≤0,05
3	-0,452		0,116		-0,191	
4	0,603	p≤0,05	0,61	p≤0,05	0,625	p≤0,05
5	-0,139		-0,45		-0,852	p≤0,05
6	0,578		0,851	p≤0,05	-0,648	
Суммарный	0,013		-0,022		-0,022	
	Коэффициенты корреляции индекса PNC (и уровни достоверности) с gh-индексом					
1	0,256		0,244		0,45	
2	0,193		0,502		0,272	
3	0,022		-0,156		-0,246	
4	-0,665	p≤0,05	-0,723	p≤0,01	-0,386	
5	0,13		-0,126		-0,03	
6	0,736		0,164		0,082	
Суммарный	-0,021		-0,166		-0,05	

Коэффициенты корреляции, приведенные в таблице 3, показывают, что первые акты слияния клеток (эксперимент 1 и 2 с частичным наложением) достоверно коррелируют с подъемом счета нейтронов у поверхности Земли (Рис.3,4, табл.1). Этому явлению соответствуют первые 2 пика подъема индекса PNC (Рис.6), события I и II (таблица 2, Рис. 7). Достоверная корреляция индекса PNC с нейтронами в линии FHM, начиная со 2-го эксперимента, свидетельствует, вероятно, о существовании индивидуальной чувствительности клеточных культур к дозам воздействия. Клеточные линии L и CHO получены от теплокровных животных, обитающих на поверхности Земли, линия FHM – от холоднокровных, живущих под водой. В силу того, что амплитуда ритмических колебаний у холоднокровных ниже, чем у теплокровных, более медленное нарастание индекса PNC в линии FHM (рыбы), возможно, объясняется инерционностью метаболических процессов у холоднокровных. III событие (Рис 4, 6,7, табл. 1, 2) находит полное отражение в коэффициентах корреляции в 3-м эксперименте, которые, вероятно, отражают разнонаправленные реакции на комплекс разнозначимых воздействий (мощнейшее геомагнитное возмущение, «остаточные» от первой протонной вспышки СКЛ и приход новой волны солнечных протонов высоких энергий - Рис.1, 2). Достоверные коэффициенты корреляции с нейтронами в 4-м эксперименте во всех 3-х клеточных линиях отражают IV событие (Рис.1, 2, 3, 4, 6, 7, табл. 1, 2, 3) и свидетельствуют о значимости 3-й волны СКЛ для слияния клеток. V и VI события (Рис.4, 6, 7, табл.1, 2) также отражены в коэффициентах корреляции в 5 и 6 экспериментах (табл. 3). Колебательный характер индекса PNC в этих экспериментах связан, по-видимому, с затухающим характером солнечной активности (рис.1), снижением потока высокоэнергичных солнечных протонов (СКЛ) в околоземном пространстве (Рис.2) и уровня нейтронов у поверхности Земли (Рис.3),



спорадическими колебаниями ГМА (Рис.4), с собственной динамикой образования многоядерных, гигантских клеток и реконструктивными процессами, направленными на ликвидацию генетически запрещенных вариантов клеток [13,14,15].

Дополнительным аргументом, подтверждающим роль нейтронов в слиянии клеток служит работа [17], в которой показано, что облучение животных быстрыми нейтронами *in vivo* приводит к слиянию клеток печени. Авторы предположили, что появление многоядерных клеток индуцируется плотноионизирующими ядрами отдачи при нейтронном облучении. Оказалось, что доля двуядерных клеток по сравнению с необлученным контролем начинает удваиваться через 30 мин после окончания нейтронного облучения, достигает максимума к 2 ч, а затем приближается к исходному уровню. Длина пробега ядер отдачи намного превышает размер клеток и, таким образом, практически каждый трек пересекает границу между соседними клетками. Плотноионизирующие протоны и другие ядра, пересекая наружные мембраны клеток, возможно, действуют аналогично электрическому разряду, вызывающему пробой клеточных мембран, что широко используется для слияния клеток [17]. Выявленный нами феномен массового слияния клеток в культуре во время солнечных протонных событий, обнаруживает поразительное сходство (вплоть до времени появления многоядерных клеток после резкого возрастания уровня нейтронов у поверхности Земли и динамики индекса PNC) с эффектами нейтронного облучения *in vivo*. А это говорит о том, что во время уникальных GLE, связанных с вторжением высокоэнергичных частиц (СКЛ) в атмосферу Земли, доза естественного облучения нейтронами может быть сопоставима с той, которую получали животные в эксперименте, при облучении их быстрыми нейтронами с энергиями 14 МэВ.

Однако, в отличие от эксперимента, в естественных условиях вариации уровня нейтронов сопряжены с вариациями ГМА, причем воздействие ГМА, по-видимому, носит альтернативный характер по отношению к действию нейтронов.. Из табл.3 видно, что корреляции rh-индекса с индексом PNC, в основном, недостоверны, за исключением 4-го эксперимента, где для линий L и СНО коэффициенты корреляции значимы и имеют отрицательный знак.

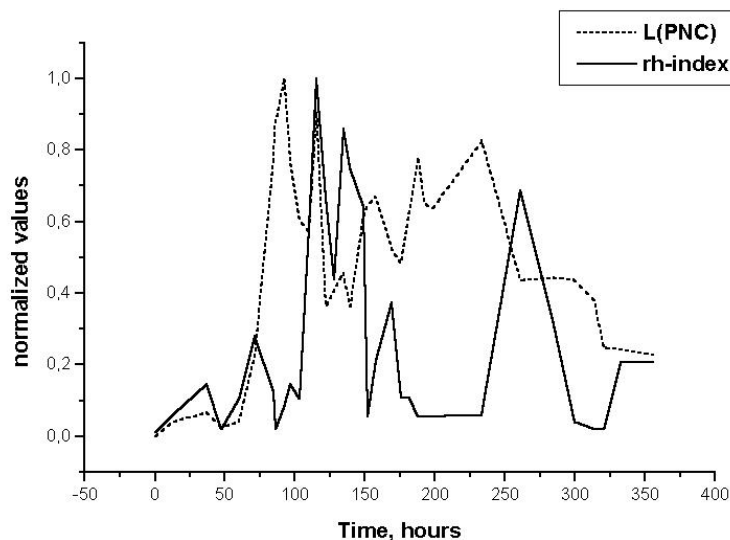


Рис. 8

Динамика индекса PNC в культуре клеток линии L и вариации rh-индекса. По оси абсцисс – время от начала экспериментов. По оси ординат – нормированные значения.

Вместе с тем, значение вариаций ГМП, по-видимому, сводится к инициации процессов, направленных на ликвидацию последствий массового слияния клеток и появлению генетических «монстров». На Рис. 8 можно видеть, что повышение уровня ГМА сопряжено со

снижением индекса PNC в культуре клеток линии L. Исключение составляет совпадение максимального пика ГМА с максимальным уровнем PNC. А поскольку последний сопряжен с приходом основного фронта высокоэнергичных СКЛ в околоземное пространство, можно предположить, что процесс массового слияния клеток под воздействием первичных частиц СКЛ с высокими энергиями и вторичных, связанных с нейтронами, опережает процессы, направленные на ликвидацию возникших морфо-генетических искажений. В таком «сценарии» вариации ГМА могут играть роль реорганизующей силы, способствующей устойчивости биосистем к деструктивному воздействию высокоэнергичных частиц и стабилизирующей генетические процессы.

Таким образом, экстраординарная феноменология поведения клеточных систем в октябре 1989 г. показывает, что в определенных условиях, геокосмические воздействия, сопряженные со значительным возрастанием потока высокоэнергичных СКЛ, могут радикальным образом менять свойства живых объектов, инициируя в них процессы реорганизации генетического материала, что, вероятно, имеет отношение к механизмам эволюции.

### Литература

1. Мирошниченко Л.И. Вариации космических лучей в биосфере. Сб. "Электромагнитные поля в биосфере", 1984, т.1, с.33-39
2. Владимирский Б.М., Н.А.Темурьянц Н.А.. Влияние солнечной активности на биосферу-ноосферу; под общ. ред. Л.А.Блюменфельда и Н.Н.Моисеева. - М.: МНЭПУ, 2000. - 374 с.
3. Гак Е.З., Захаров С.Д, Белишева Н.К. О роли космических лучей в биофизических и гидрологических процессах. Тез. междунар. конгресс "Слабые и сверхслабые поля и излучения в биологии и медицине" 17-19 июня, 1997, С.Петербург, с. 252
4. Цаплин В.С., Логачев Ю.И, Кондратьев Е.Л. Исследование вариаций спектров пропускания водных растворов и их корреляция с показаниями нейтронного монитора. В сб. Проблемы космической биологии. Ред. акад. В.Н.Черниговский. М., Наука, 1982, Т.43. С.211-215.
5. Виниченко М.Б, Белишева Н.К.. Влияние потока нейтронов космического происхождения на свойства воды. Тез. Крымского междунар. Семинара «Космическая экология и ноосфера», 4-окт. 1999, Партенит, Крым, Украина, с.76-77
6. Маликов Д.И. Вес новорожденных животных в связи с колебаниями естественного фона космической радиации// Солнце, электричество, жизнь/Московское общ-во испытателей природы. : МГУ, 1972. - С.79-80
7. Дубров А.П.. Влияние гелиогеофизических факторов на ритмичность выделения органических веществ корнями растений. // Солнце, электричество, жизнь/Московское общ-во испытателей природы. : МГУ, 1972. - С.76-78.
8. Луинов М.С. Многолетние ритмы и синергетика систем организма с космогеофизическими факторами. Автореф. докт. дисс. С.П. 1997. 44 с.
9. Фараоне П. Ежедневные наблюдения (1970-1992) флуктуаций частоты появления секторной структуры в колониях бактерий, отобранных из культур *S.aureus*. // Биофизика, 1995, Т.40, вып.4, С. 786-792
10. Козлов А.А.//Радиобиология. 1987. Т.27. №6. С.756-760.
11. Kuzin, G.N. Surkenova A role of natural background radiation (NBR) and secondary biogenic radiation (SBR) in the biological processes. 2<sup>nd</sup> Int. Gurwitsch Conference NON-EQUILIBRIUM AND COHERENT SYSTEMS IN BIOLOGY, BIOPHYSICS AND BIOTECHNOLOGY. Moscow. Sept. 6-10, 1999. С.26
12. Reeves G.D. et all. The Great Solar Energetic Particle Events of 1989 Observed From Geosynchronous Orbit // J.Geophys.Res. 1992, Vol.97, No. A5, P.6219-6226
13. Belisheva N.K., Popov A.N., Poniavin D.I.- Biological Effects in Cell Cultures and Geomagnetic Field Variations. . In book: Int. Symp. on Charge and Field Effects in Biosystems, June 20-24, 1994 Richmond, Virginia, USA, p.159-173
14. Белишева Н.К, Попов А.Н - Динамика морфо-функционального состояния клеточных культур при вариациях геомагнитного поля в высоких широтах. Биофизика, 1995, Т.40, вып.4, С.755-764
15. Белишева Н.К., Емелин С.Е.// Самоорганизация живых систем под воздействием геокосмических агентов. Научное приборостроение РАН. 1998, т.7, N 1-2, прилож.№1, с.35
16. Shea M.F., Smart D.F. History of solar proton event observations. Proc. Suppl. Nuclear Physics B. 1995. 39A. P.16-25
17. Гильяно Н.Я., Малиновский О.В., Хаир М.Б. Слияние клеток *in vivo*, индуцированное действием быстрых нейтронов и  $\gamma$ -лучей // Докл. АН СССР, 1988, т. 301, N 9, 1484-1487.