

д) возможен ущерб от потери ряда туристических зон.

6. Политические:

а) одни государства окажутся в относительно более выгодном положении, чем другие, могут произойти изменения в расстановке политических сил;

б) может усилиться борьба за территории и ресурсы.

Для дальнейших сценариев существования человечества в обозримой перспективе, уже не так важно, что лежит в основе глобального повышения температуры, CO₂, осадков ... Теперь важно искать пути, как снизить риски глобальных климатических изменений на природу, биосферу и экономику. Назрела острая необходимость создания для России единого, с мировым, научного и образовательного пространства и очень сильной интеграции с западным сообществом. В одиночку, с последствиями глобальных климатических и биосферных изменений, России не справиться. Как сказал Б.Н.Порфирьев на своём выступлении во Всероссийском Экономическом обществе с докладом «Глобальные климатические изменения: новые риски или факторы экономического роста России» (20 мая 2009 г.): «Можно по-разному относиться к Киотскому протоколу, но ясно одно: необходимо садиться за стол переговоров, иначе очень скоро будет поздно. Ибо, если ты не сидишь за столом, то можешь оказаться в меню. Будущее развитие России зависит от наших ответов на возникшие риски».

Список литературы

1. Либин И.Я., Перес Пераса Х. Гелиоклиматология. – М.: МАОК, 2009. – 252 с.
2. Perez Peraza J., Libin I., Dorman L. Space Sources. – М.: EuroMedia, 2011. – 334 p.
3. Рагульская М.В. Синергетические аспекты поведения биологических систем при воздействии внешних полей // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. – 2005. – №1–2. – С. 57–68.

ВВЕДЕНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОСТИ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ В МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ДВИЖУЩИХСЯ СИСТЕМ

¹Мухопад Ю.Ф., ²Суржик В.В.

¹Иркутский государственный университет путей сообщения, Иркутск;

²Иркутский государственный технический университет, Иркутск, e-mail: bts48@mail.ru

Взаимодействие движущихся систем с окружающей средой в теоретической физике описывается различными моделями, которые приводят к нелинейным дифференциальным и интегро-дифференциальным уравнениям с частными производными. И только введение дополнительных предположений и допущений о малости амплитуд волн поля, или амплитуд

колебания среды, амплитуд отклонения от состояния равновесия и т.п. приводят к линейным уравнениям, которые изучены в достаточной степени.

Среди систем нелинейных уравнений с частными производными наиболее простыми являются системы квазилинейных уравнений. Но даже и для этих систем нет общих теорем существования и единственности решения с начальными данными (задача Коши). Упрощение исходной интегро-дифференциальной системы, описывающей взаимодействие объекта со средой, где в интегралах присутствуют сингулярные ядра, является задачей особой сложности свойственной техническим системам.

На процесс создания любой технической системы большое влияние оказывают факторы конструктивного, информационного, структурного, функционального, энергетического, технологического и организационно-экономического характера. Такое обилие требований к созданию объектов техники предопределило появление и развитие системного анализа (СА).

Системный анализ, являющийся неотъемлемой частью теории систем, дает возможность принимать решения в условиях анализа большого количества информации различной природы. При этом большая система рассматривается как интегрирование элементов со связями в пространстве и во времени и объединенные с целью достижения максимальной эффективности всей системы при гармоничном сочетании, возможно, и противоречивых целей ее составных частей. Качество анализа определяется степенью адекватности математической модели системы, т.е. ее способностью отражать заданные свойства объекта с погрешностью, не выше заданной. Кроме того, создаваемая математическая модель должна обладать свойством целостности, связности и эмерджентности, что подразумевает независимость системы от внешней среды и других систем, наличие непосредственных или опосредованных связей между любыми элементами системы и не сводимости свойств системы к сумме свойств ее элементов.

В качестве примера рассмотрим математические модели возмущенного движения экранопланов. С известным приближением исследование возмущенного продольного движения экраноплана, описываемого нелинейной нестационарной системой, можно заменить исследованием возмущенного движения линейной стационарной системой [1, 2, 3, 12]. Погрешность, возникающая при такой замене, будет тем меньше, чем меньше в данном интервале времени (это может быть время релаксации системы) изменяются коэффициенты дифференциального уравнения.

Системный анализ математических моделей продольного невозмущенного движения экрано-

планов, опубликованных в литературе [1, 2, 3], выявил неадекватность этих математических моделей реальному физическому процессу, что в ряде случаев приводило к необоснованным выводам относительно устойчивости экранопланов некоторых компоновочных схем.

В рамках гипотезы квазистационарности предполагается, что аэродинамические силы и моменты являются функциями мгновенных значений угла атаки α , отстояния крыла от экрана h скорости V , угла тангажа ϑ и других кинематических параметров.

Авторы предлагают ввести в уравнения продольного движения экраноплана **нестационарные изменения параметров** $\Delta\alpha(t_i)$ и $\Delta\bar{H}(t_i)$, то есть зависимость этих параметров от угловой скорости ω_{zc} и от вертикальной скорости $\frac{d\Delta H}{dt}$.

В общем случае продольного движения экраноплана, его параметры α , \bar{H} , ϑ меняются во времени по любым законам. При изменении этих параметров ЦМ экраноплана совершает поступательное движение, описываемое функциями $\bar{V} = \bar{V}(t)$; $\bar{H} = \bar{H}(t)$. Все остальные материальные точки экраноплана, находясь в таком же как и ЦМ поступательном движении совершают вращение вокруг оси OZ_c , проходящей через ЦМ экраноплана, с угловой скоростью $\omega_{zc} = \frac{d\vartheta}{dt}$. Вследствие чего в целом меняются высота полета крыльев над экраном \bar{h}_i , угол тангажа экраноплана ϑ , а следовательно, и угол атаки α . Эти вертикальные скорости, вызванные вращением экраноплана, изменяют углы атаки крыльев на величину $\pm(\bar{X}_{T_i} \pm \bar{X}_{F\alpha}) \frac{1}{\mu} \bar{b}_{A_i} \frac{d\vartheta}{dt}$.

При движении экраноплана в направлении оси OX он может совершать также и поступательные перемещения в направлении оси OY скоростной системы координат со скоростями соответственно для крыльев V_{Y1} , V_{Y2} и V_{Y3} . При поступательном перемещении экраноплана в направлении оси OY , вертикальная скорость $\frac{d\Delta H}{dt}$ также вызовет изменение углов атаки крыльев, а именно на величину $\frac{1}{\mu} \frac{d\Delta \bar{H}}{dt}$.

Для иллюстрации вышеизложенных рассуждений специально выбрана компоновочная схема экраноплана «гибрид» в связи с тем, что эта схема имеет три несущие поверхности, и иллюстрация на ней ввода нестационарности параметров движения экраноплана наглядна в смысле общности относительно других компоновочных схем.

Таким образом, нестационарные изменения углов атаки каждого из крыльев экраноплана

компоновочной схемы «гибрид» выразятся следующими соотношениями:

$$\Delta\alpha(t)_1 = \Delta\alpha + (\bar{X}_{T1} + \bar{X}_{F\alpha}) \frac{1}{\mu} \frac{d\Delta\vartheta}{dt} - \frac{1}{\mu} \frac{d\Delta\bar{H}}{dt};$$

$$\Delta\alpha(t)_2 = \Delta\alpha - (\bar{X}_{T2} - \bar{X}_{F\alpha}) \frac{\bar{b}_{A2}}{\mu} \frac{d\Delta\vartheta}{dt} - \frac{1}{\mu} \frac{d\Delta\bar{H}}{dt}; \quad (1)$$

$$\Delta\alpha(t)_3 = \Delta\alpha + (\bar{X}_{T3} + \bar{X}_{F\alpha}) \frac{\bar{b}_{A3}}{\mu} \frac{d\Delta\vartheta}{dt} - \frac{1}{\mu} \frac{d\Delta\bar{H}}{dt},$$

где индекс 1 относится к основному крылу, индекс 2 – к носовому крылу, а индекс 3 – к стабилизатору. При повороте экраноплана на угол $+\Delta\vartheta$ отстояние основного крыла уменьшится на величину $\Delta\bar{h}_1 = -\Delta\vartheta(\bar{X}_{T1} + 1)$, а носового крыла увеличится на величину $\Delta\bar{h}_2 = \Delta\vartheta(\bar{X}_{T2} - 1)$. Значения отстояний крыльев $\Delta\bar{h}(t_i)$ в общем случае примут вид:

$$\Delta\bar{h}(t)_1 = \Delta\bar{H} - (\bar{X}_{T1} + 1)\Delta\vartheta;$$

$$\Delta\bar{h}(t)_2 = \Delta\bar{H} \frac{\bar{b}_{A1}}{\bar{b}_{A2}} + (\bar{X}_{T2} - 1)\Delta\vartheta. \quad (2)$$

Особо отметим, что при введении в систему дифференциальных уравнений продольного движения экранопланов нестационарных значений изменения параметров $\Delta\alpha(t_i)$ и $\Delta\bar{H}(t_i)$, отпадает необходимость искусственного введения в уравнения движения экраноплана выражения для коэффициента при ω_{zc} , обусловленное рассуждениями о «гипотезе искривления», применяемой для изучения динамических характеристик ЛА в безграничной жидкости.

Уравнения продольного возмущенного движения экраноплана с коэффициентами матрицы, зависящими от нестационарности параметров движения, будут уравнениями с постоянными коэффициентами более сложного вида, чем система уравнений без учета нестационарности параметров движения, но размерность системы не изменится.

С учетом функциональной зависимости коэффициентов матрицы продольного движения от геометрии компоновочной схемы и позиционных производных, критерий статической устойчивости для системы с учетом нестационарности параметров движения запишется в виде:

$$\frac{m_z^\alpha + m_z^\vartheta}{C_y^\alpha + C_y^\vartheta} - \frac{m_z^{\bar{H}}}{C_y^{\bar{H}}} > 0. \quad (3)$$

Видно, что критерий аperiodической статической устойчивости для экраноплана с учетом нестационарности параметров движения (3) существенно отличается от аналогичного критерия полученного, в работе [3],

$$\frac{m_z^\alpha}{C_y^\alpha} - \frac{m_z^{\bar{H}}}{C_y^{\bar{H}}} > 0.$$

Первое слагаемое в (3) есть *запас статической устойчивости по углу тангажа* ϑ (а не по углу атаки как в работе [3]), а второе слагаемое – *запас статической устойчивости по отстоянию \bar{H}* . Критерий самостабилизации экраноплана схемы «утка» или **раздвижка фокусов** $\Delta \bar{X}_F$ будет:

$$\Delta \bar{X}_F = \sigma_\vartheta \Big|_{\bar{H}=\text{const}} - \sigma_{\bar{H}} \Big|_{\vartheta=\text{const}}. \quad (4)$$

При изменении скорости полета экраноплана, а следовательно, и высоты полета над экраном, коэффициенты матрицы продольного движения будут меняться, будет меняться и величина выражения (3). При нахождении фокуса по отстоянию в ЦМ будем иметь независимость фокусов по тангажу и отстоянию друг от друга. Это значит, что изменение отстояния ЦМ от экрана ($\Delta \bar{H} \neq 0$) не вызовет изменение тангажа экраноплана, и наоборот, изменение тангажа аппарата не вызовет колебаний аппарата по высоте.

Потеря экранопланом колебательной или динамической устойчивости наступит, когда изменит знак с положительного на отрицательный детерминант Рауса–Гурвица $R_t = P_1 P_2 P_3 - P_0 P_3^2 - P_1^2$. Запишем его в более удобном для анализа виде

$$\frac{P_2}{P_3} - \frac{P_0}{P_1} - \frac{P_1}{P_3^2} > 0. \quad (5)$$

Таким образом, в качестве меры эксплуатационной устойчивости экранопланов принят **критерий самостабилизации** (3). Этот критерий гарантирует отсутствие в системе уравнений продольного движения экранопланов положительных действительных корней, а детерминант Рауса–Гурвица (5) отсутствие положительных вещественных частей комплексных корней. Но условия устойчивости (3) и (5) могут не обеспечить эксплуатационную безопасность экраноплана в реальном возмущенном движении на малых отстояниях ввиду возможной встречи аппарата с экраном при значительных «забросах» (дальнейшем увеличении параметров после прекращения действия возмущения) выходных величин $\delta(\Delta\vartheta)$ и $\delta(\Delta H)$. Поэтому анализ устойчивости экранопланов необходимо вести не только по условиям (3) и (5), а изучать весь переходный процесс возмущенного движения и проектировать такую компоновочную схему, у которой забросы выходных параметров $\delta(\Delta\vartheta)$ и $\delta(\Delta H)$ стремились бы к нулю или были бы минимальными.

Как уже отмечалось выше, проблема создания подвижной системы необходимо рассматривать с позиций системного анализа.

При разработке математической модели объекта проектирования из него выделяется набор параметров описывающих его функционирование и структурно-параметрический набор проектных параметров. Такое разделение параметров единой математической модели на две части довольно условно, но оно полезно при разработке соответствующего программного обеспечения при разработке САПР (систем автоматизированного проектирования). Структурно-параметрический набор параметров дает возможность генерировать множество альтернатив изучаемого объекта. Задачей математического моделирования процесса проектирования является описание процессов постановки и решение задач проектирования на основе иерархии математических моделей объекта с примерным разделением на следующие восемь уровней:

* главная цель – создание экранопланов в соответствии с заданными тактико-техническими требованиями (ТТТ) и условиями оптимальности: $C_{y\max}^\alpha \cdot K_{\max} = \frac{C_{y\Sigma}}{C_{x\Sigma}}$;

* первый уровень – формирование математической модели пространственного движения экраноплана, проведение системного анализа существующих моделей на адекватность этих моделей реальным физическим процессам;

* второй уровень – введение поправочных коэффициентов в теоретические зависимости C_y и C_x в соответствии с экспериментальными данными для крыльев пространственной геометрии. На этом же уровне в систему уравнений движения экраноплана вводится нестационарность параметров движения $\Delta\alpha(t_i)$ и $\Delta\bar{H}(t_i)$;

* третий уровень – выделение из пространственной модели движения экраноплана первого уровня системы уравнений продольного движения с учетом результатов второго уровня;

* четвертый уровень – формирование уравнений продольного движения экранопланов различных компоновочных схем: схемы «утка», схемы «обратная утка», схемы «гибрид», «самолетной» схемы и схемы «летающее крыло» соответственно;

* пятый уровень – параметрический синтез уравнений продольного движения экранопланов различных компоновочных схем по критериальным оценкам оптимального проектирования экранопланов по максимальным несущим способностям изолированного крыла в зависимости от удлинения $C_{y\max}^\alpha$ и максимальному качеству всей компоновочной схемы $K_{\max} = \frac{C_{y\Sigma}}{C_{x\Sigma}}$. На этом же пятом уровне ведется расчет само-

стабилизированных положений экранопланов для схем «утка», «обратная утка» и «гибрид». Где самостабилизированные положения – это самобалансировка экраноплана над экранирующей поверхностью при изменении скорости движения от взлетной до максимальной без вмешательства органов управления с сохранением устойчивости движения;

* шестой уровень – дальнейший параметрический синтез всех компоновочных схем экранопланов при варьировании геометрических параметров с определением границы устойчивости этих схем. Эта задача по определению зон устойчивости экранопланов имеет следующие условия устойчивости Рауса–Гурвица:

$$\begin{aligned} \Phi &= P_0 > 0; P_1 > 0; \\ P_2 &> 0; P_3 > 0; P_4 > 0; \\ \{R_2 &= (P_4 P_3 - P_2) > 0; \\ R_3 &= [R_2 P_2 - P_4 (P_4 P_1 - P_0)] > 0; \\ R_4 [R_3 (P_4 P_1 - P_0) - R_2^2 P_0] &> 0; \\ R_5 &= R_4 R_2 P_0 > 0, \end{aligned} \quad (6)$$

где P_i – коэффициенты характеристического полинома системы уравнений продольного движения экранопланов. При удовлетворении условия (3) и не соблюдении одного из условий Рауса–Гурвица в (6) (станет отрицательным, при вариации конструктивных параметров экраноплана $X \in (\bar{S}_2 = 0, 2 \dots 1, 0; \bar{L}_2 = 0, 7 \dots 5, 0)$ то, это будет соответствовать границе устойчивости при данном значении конструктивного параметра. По результатам расчета шестого уровня строятся кривые зон устойчивости экранопланов;

* седьмой уровень – уровень анализа полученных моделей;

* восьмой уровень и ниже лежащие уровни предусматривают оптимизацию экранопланов по таким критериальным оценкам как минимизация весовых параметров конструктивных элементов экраноплана, минимизацию стоимости перевозки пассажиров и груза и др.

По материалам параметрического синтеза экранопланов компоновочной схемы «утка» получено два патента [4, 5]. Получены патенты на экранопланы схемы «обратная утка» [6] и «самолетной» схемы [7].

Для проверки адекватности математической модели возмущенного продольного движения экраноплана с учетом нестационарности параметров движения реальным физическим процессам, построена и испытана модель экраноплана компоновки «летающая платформа», являющаяся модификацией схемы «гибрид», на открытой воде с помощью катера-буксировщика. Для регистрации и записи параметров возмущенного движения модели исполь-

зована стандартная авиационная аппаратура МСРП-12 с некоторыми изменениями и упрощениями.

Данные измерительной аппаратуры переходного возмущенного режима модели, угловая скорость $\Delta \dot{\theta}$ и вертикальное ускорения $\Delta \ddot{H}$ ЦМ в зависимости от времени, сопоставлены с теоретическими расчетами. Переходные процессы имеют ярко выраженный колебательный характер и наблюдается совпадение с экспериментом ~8-10%.

В результате введения в систему дифференциальных уравнений продольного возмущенного движения экранопланов нестационарности параметров движения (3) и (4) получена новая система, адекватно описывающая поведение экранопланов в переходном возмущенном движении. Рассмотренный пример подтверждает важность проведения системного анализа математических моделей подвижных систем.

Список литературы

1. Жуков, В.И. Особенности аэродинамики, устойчивости и управляемости экраноплана. – М.: ЦАГИ, 1997. – 80 с.
2. Анализ продольного возмущенного движения экраноплана / Е.П. Вачасов и др. // Самолетостроение и техника воздушного флота. – Харьков: 1972. – Вып. 29.
3. Иродов, Р.Д. Критерии продольной устойчивости экраноплана. – М.: Ученые записки ЦАГИ, 1970.
4. Пат. № 2224671 Российская Федерация, МПК7 В 60V 1/08. Самостабилизирующийся экраноплан / Суржик В.В., Скороходов П.А., Таранушенко В.В., Ремизов С.М., Взяткин Г.А. Иркутск. Закрытое акционерное общество «Технологии СДП». – № 2003100793; заявл. 09.01.2003; опубл. 27.02.2004, Бюл. № 6. – 1 с.
5. Пат. № 2362693 Российская Федерация, МПК В 60V1/08. Самостабилизирующийся экраноплан / Суржик В.В., Мухопад Ю.Ф., Ремизов С.М.; заявитель и патентообладатель Иркутск. ООО Байкальский научно-инженерный центр. – № 2007111299; заявл. 27.03.2007; опубл. 10.10.2008, Бюл. № 21. – 2 с.
6. Пат. № 2368521 Российская Федерация, МПК В 60V1/08. Экраноплан «самолетной» схемы / Суржик В.В., Мухопад Ю.Ф.; заявитель и патентообладатель Иркутск. ООО Байкальский научно-инженерный центр. – № 2007129448; заявл. 31.07.2007; опубл. 10.02.2009, Бюл. № 27. – 2 с.
7. Пат. № 2368522 Российская Федерация, МПК В 60V1/08. Самостабилизирующийся экраноплан / Суржик В.В., Мухопад Ю.Ф., Величко И.И.; заявитель и патентообладатель Иркутск. ООО Байкальский научно-инженерный центр. – № 2007129449; заявл. 31.07.2007; опубл. 10.02.2009, Бюл. № 27. – 2 с.
8. Суржик В.В. Системные преимущества самостабилизирующихся экранопланов / В.В. Суржик, Ю.Ф. Мухопад // Мир транспорта. – 2008. – Вып. 3. – С. 156-161.
9. Суржик В.В. Определение зон устойчивости конструктивных схем экранопланов // Полет. – М.: Машиностроение. – 2010. – Вып. 2. – С. 28-32.
10. Surzhik, V.V. Integration way of development of the transportation network for EURO-ASIAN corridor / Y.F. Mukhopad and V.V. Surzhik. // Innovation & Sustainability of Modern Railway Proceedings of ISMR 2008. – Edited by Lei. Xiaoyan China : 2008. – P. 427-430.
11. Surzhik, V.V. The second-generation ekranoplans / V.V. Surzhik and Y.F. Mukhopad // Innovation & Sustainability of Modern Railway Proceedings of ISMR 2008. Edited by Lei. – Xiaoyan China: 2008. – P. 597-601.
12. Суржик, В.В. Структурно-параметрический синтез математических моделей экранопланов. – Иркутск: ИрГТУ, 2012. – 184 с.

О ВОЗМОЖНОМ ВЛИЯНИИ 30-ЛЕТНИХ КОСМОФИЗИЧЕСКИХ ЦИКЛОВ НА БИОСФЕРУ И КЛИМАТ

¹Хорхе Перес Пераса, ²Либин И.

¹Институт Геофизики Национального Автономного университета Мексики, Мексика;

²Международная Академия оценки и консалтинга, e-mail: libin@bk.ru

Для исследований поведения интенсивности космических лучей в прошлом используются данные о космогенных изотопах, в частности временные ряды ^{14}C (по данным INTERCAL-98) и ^{10}Be (данные, полученные на Северном и Южном полюсах).

Анализ этих данных позволил обнаружить существование вариаций космических лучей с периодом около 30 лет. Результаты были получены с применением вейвлет-преобразования (Wavelet Transformation Spectral Technique).

Впервые выполнен анализ вариаций космофизических, климатических и биосферных индексов, который показал, что 30 летние колебания в космических лучах являются модулятором изменений биосферы Земли и климата.

Одной из основных проблем в определении значительных долгосрочных периодичностей в космических лучах является то, что временные ряды этих данных невелики и доступны только после 50-х годов. Данные по космогенным изотомам бериллия-10 (^{10}Be) и углерода-14 (^{14}C), принято рассматривать в качестве прокси-космических лучей, так что спектральный анализ этих данных может выявить искомые периодичности с высокой точностью [Fligge и др., 1999]. Эти космогенные изотопы образуются в основном от галактических космических лучей, поток которых модулируется изменениями межпланетного и геомагнитного

магнитных полей. Следует отметить, что анализ космогенных изотопов, таких как ^{10}Be (в ядрах полярного льда) и ^{14}C в кольцах деревьев (хранящихся в архивах) проводить гораздо сложнее, нежели анализ числа солнечных пятен. Это связано с тем, ^{14}C и ^{10}Be отражают не только воздействие солнечной активности, но и процессы атмосферного переноса и осаждения [Beer et al., 1990].

Вейвлет-анализ палеоклиматических данных, отражающих крупномасштабные атмосферные явления (АМО – Атлантической Многолетней Осцилляции и SAO – Южной Осцилляции) и ураганов показал высокую согласованность между этими климатическими колебаниями и космическими лучами (вычисленными по данным космогенных изотопов ^{10}Be) с периодами порядка 30 ± 2 года. Кроме того, обнаруженный 30-летний цикл демонстрируют и некоторые локальные свойства ураганов (например, общий объем всей циклонической энергии, тропических бурь у Атлантического побережья Мексики, рис. 2) [Perez-Peraza and Libin, 2012]. Нужно сказать, что впервые, 30-летние вариации в данных штормистости и температуры были обнаружены в работах авторов и в работе [Кляшторин и Любушин, 2005]. Близкие результаты в разные годы были получены многочисленными исследователями для измерений магнитного поля Земли [Pushkov and Chernova, 1972; Papitashvili et al., 1980; Papitashvili et al., 1982; Golovkov et al., 2010].

Данные о ^{10}Be и ^{14}C могут быть получены для интервалов в несколько тысячелетий: мы использовали INTERCAL 98 (<http://depts.washington.edu/qil/>) для ^{14}C и ^{10}Be [Beer et al., 1990]. По Южному полюсу мы пользовались данными из работы [Bard et al., 2000].

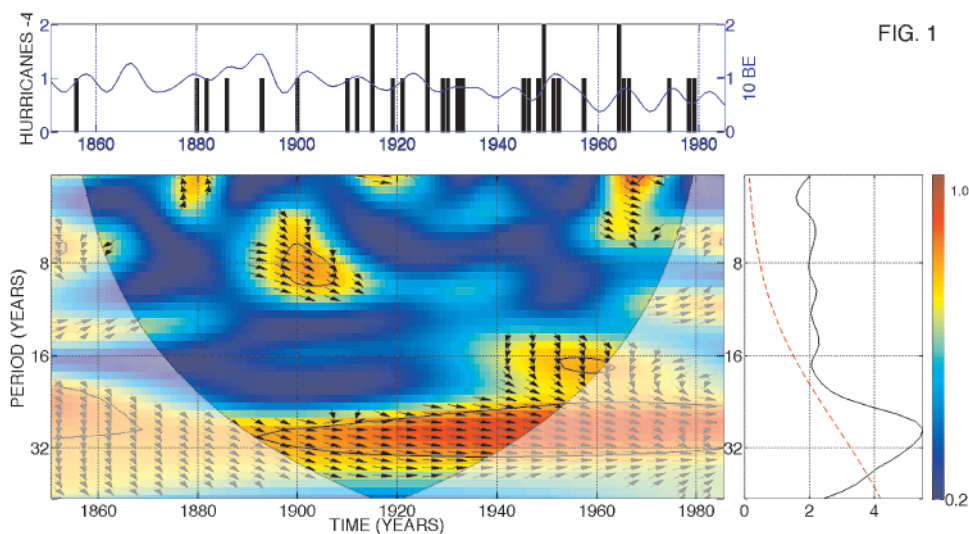


FIG. 1

Рис. 1. Результаты вейвлет-анализа ^{10}Be : собственно временные ряды показаны на верхней панели. Вейвлет-спектр Морле для каждой серии отражается в середине панели, а общий спектр Wavelet появляется в правой части рисунка, где пунктирная линия показывает границу 95% доверительного интервала