

УДК 551.50

ББК 39.15

ВИХРЕВОЕ ПОЛЕ ЗЕМЛИ И ОБЛАСТИ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ

Николай Владимирович Даниленко

кандидат технических наук, доцент

Московский государственный технический университет

гражданской авиации (Иркутский филиал)

Иркутск, Россия

danko_irk@mail.ru

В статье рассмотрены вопросы циркуляции сред Земли в поле её вращения относительно Полярной оси NS . В основу исследования циркуляции сред Земли положен закон Био-Савара в его простейшей форме на базе бесконечно длинного вихря, нашедший широкое применение в аэродинамике профилей крыла, в газовой динамике и в гидродинамике. В процессе применения закона Био-Савара к материальным средам Земли, находящимся в поле её суточного вращения, установлена закономерность взаимосвязи циркуляции скорости Γ исследуемой элементарной частицы с относительной высотой (глубиной) $\pm \bar{H}$ её расположения по отношению к осреднённой поверхности Земли и с географической широтой λ . Сущность этой закономерности представлена математическим выражением в физических параметрах нашей планеты. Полученная интенсивность циркуляции скорости Γ сред Земли переведена в безразмерные критериальные параметры. На их основе предложены вихревые характеристики сред Земли. Дана их классификация. Разработан пакет следствий вихревых характеристик, по сущности которых предложен рабочий процесс мало известных в природе вихревых явлений геофизики с точки зрения вихревой динамики свободно взвешенных сред

планеты типа «Земля». Предложены следствия вихревых характеристик сред Земли и особенности рабочего процесса геофизических явлений на Солнце.

Ключевые слова: суточное вращение, циркуляция сред Земли, вихревые характеристики, следствия вихревых характеристик сред Земли.

THE EARTH'S VORTEX FIELD AND ITS APPLICATION AREAS

Nikolaj Vladimirovich Danilenko

Candidate of Technical Sciences,

associate professor

Irkutsk Branch of Moscow State Technical University of Civil Aviation

Irkutsk, Russia

danko_irk@mail.ru

The article deals with the issues of circulation of the Earth's environments in the area of its rotation relative to pole axis NS . The research of circulation of the Earth's environments is based on the Biot-Savart law in its simplest form on the basis of an infinitely long vortex which has found wide application in airfoil aerodynamics, gas dynamics and in hydrodynamics. When applying the Biot-Savart law to the Earth's material environments in its daily rotation we found a dependence of circulation of speed Γ of the elementary particle under study with its relative height (depth) $\pm \bar{H}$ relative to the Earth's averaged surface and geographical latitude λ . The essence of this dependence is presented in a mathematical expression of physical parameters of our planet. The obtained intensity of circulation of speed Γ of the Earth's environments is converted in non-dimensional criterial parameters. On their basis the vortex characteristics for the Earth's environments are proposed. Their classification is given. The authors developed a package of consequences of the vortex characteristics and proposed a working process of little known vortex phenomena of geophysics in terms of vortex dynamics of freely balanced environments of a planet of "Earth" type. The consequences of the vortex

characteristics of the Earth's environments and peculiarities of the working process of geophysical phenomena on the Sun are proposed.

Keywords: daily rotation, circulation of the Earth's environments, vortex characteristics, consequences of the vortex characteristics of the Earth's environments.

Основы теории вихревого поля сред Земли построены на базе закона Био-Савара для бесконечно длинного вихря, нашедшего широкое применение в аэро- газо- и гидродинамике при исследовании характеристик профилей обтекаемых аэродинамических тел [Аэродинамика боевых летательных аппаратов, 1994; Лойцянский, 1970; Самойлович, 1990]. Он хорошо зарекомендовал себя в методе дискретных вихрей (МДВ) профессора, доктора технических наук С. М. Белоцерковского [Белоцерковский, Ништ, 1978; Аубакиров, Белоцерковский, Желанников, Ништ, 1997]. Основы МДВ были заложены им на базе теоремы проф. Н. Е. Жуковского о подъёмной силе крыла

$$Y = \rho V \Gamma l ,$$

определяемой циркуляцией скорости Γ , плотностью тока ρV и геометрией крыла l [Аэродинамика боевых летательных аппаратов, 1994; Белоцерковский, Ништ, 1978; Аубакиров, Белоцерковский, Желанников, Ништ, 1997], а также на базе основных уравнений движения газа.

По указанным причинам автор статьи также выбрал путь циркуляционного исследования сред Земли в поле её суточного вращения в опоре на закон Био-Савара для бесконечно длинного вихря напряжения Γ , удалённого от исследуемой точки (оси вращения NS) на расстояние r

$$c = \frac{\Gamma}{2\pi r}$$

и теорему Стокса [Аэродинамика боевых летательных аппаратов, 1994; Белоцерковский, Ништ, 1978]

$$\Gamma = \oint_l c_\tau dl = 2 \iint_s \omega ds = I,$$

где c_τ – тангенциальная скорость, генерируемая вихрём, l – длина контура циркуляции скорости, ω – угловая скорость вращения исследуемой частицы и s – площадь контура, охватывающего исследуемую вихревую активность.

Допущения, применяемые при решении задачи – типовые. Рабочее тело (среда) – идеальное, несжимаемое и без пустот. Движение – вращательное, установившееся. Угловая скорость вращения Земли относительно Полярной оси NS постоянна ($\Omega_3 = \text{const}$). Осреднённый радиус Земли $R_3 = \text{const}$, а её поверхность гладкая.

Поместим вращающуюся модель Земли и её среды в поле неподвижной, прямоугольной трёхмерной системы координат (рисунок 1).

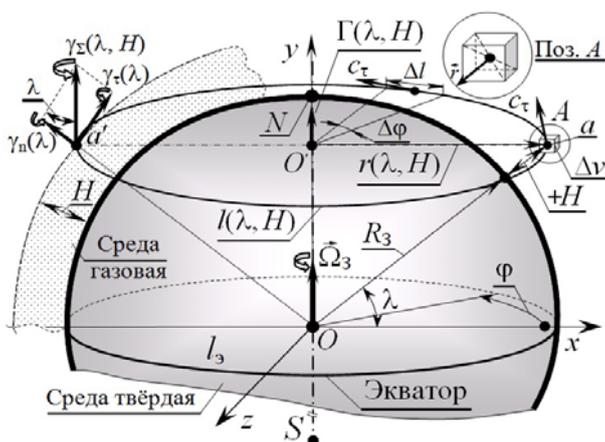


Рисунок 1 – Кинематическая модель циркуляции скорости элементарной частицы в поле суточного вращения Земли с угловой скоростью $\Omega_3 = \text{const}$

Ось вращения NS наложим на ось ординат. Начало координат положим в геометрическом центре Земли. Выберем во внешней газовой среде элементарную частичку «а», положение которой характеризуется географической широтой λ и относительной высотой $\bar{H} = H / R_3$.

В поле полярного вращения все среды Земли и их массы совершают циркуляцию Γ скорости c_τ по круговому контуру $l(\lambda, \bar{H})$, описанную законом Био-Савара и теоремой Стокса. Математическая и функциональная закономерность этой циркуляции скорости представлена выражением

$$\Gamma = 2\pi \Omega_3 R_3^2 (1 \pm \bar{H})^2 \cos^2 \lambda = f(\lambda, \bar{H}), \quad (1)$$

где π – тригонометрическая константа, Ω_3 и R_3 – угловая скорость и средний радиус Земли, \bar{H} и λ – относительная высота и географическая широта.

Закономерность (1) с двумя режимными параметрами, стоящими в функциональной части циркуляции Γ , и множеством констант позволяет [Даниленко, Кривель, Пахомов, 2011]:

- выделить и построить вихревые характеристики сред Земли;
- облегчить процесс функционального анализа искомым вихревым характеристикам, их свойств и следствий.

Действительно, положительно то, что из зависимости (1) очевидны два вида вихревых характеристик Земли в поле её суточного вращения:

- 1) высотные вихревые характеристики – по относительной высоте \bar{H} ;
- 2) широтные вихревые характеристики – по географической широте λ .

Высотная вихревая характеристика представляется следующим функциональным выражением:

$$\Gamma = 2\pi\Omega_3 R_3^2 (1 \pm \bar{H})^2 \cos^2 \lambda \quad (\text{при: } \bar{H} = \text{var} \text{ и } \lambda = \text{const}). \quad (2)$$

Высотная вихревая характеристика – зависимость циркуляции скорости Γ от относительной высоты (глубины) « $\pm \bar{H}$ » расположения исследуемой материальной частицы сред Земли над (под) её гладкой осреднённой поверхностью при постоянном значении географической широты λ .

Графическое представление высотной вихревой характеристики дано на рисунке 2.

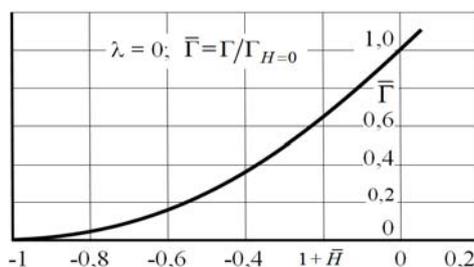


Рисунок 2 – Высотная вихревая характеристика $\bar{\Gamma} = f(1 \pm \bar{H})$ при $\lambda = 0$ сред Земли в поле её суточного вращения в плоскости экватора

Анализ характеристик $\bar{\Gamma} = f(1 \pm \bar{H})$ показывает, что относительная циркуляция $\bar{\Gamma}$ представляет собой квадратичную параболу с линейным характером увеличения циркуляции по относительной высоте в районе земной поверхности. Следствия высотной характеристики даны ниже.

Широтная вихревая характеристика представляется следующим функциональным выражением:

$$\Gamma = 2\pi\Omega_3 R_3^2 (1 \pm \bar{H})^2 \cos^2 \lambda \quad (\text{при: } \lambda = \text{var} \text{ и } \bar{H} = \text{const}). \quad (3)$$

Широтная вихревая характеристика – зависимость циркуляции скорости Γ от географической широты λ расположения исследуемой материальной частицы сред Земли над (под) её поверхностью при постоянной заданной относительной высоте \bar{H} .

Графическое представление широтной вихревой характеристики дано на рисунке 3.

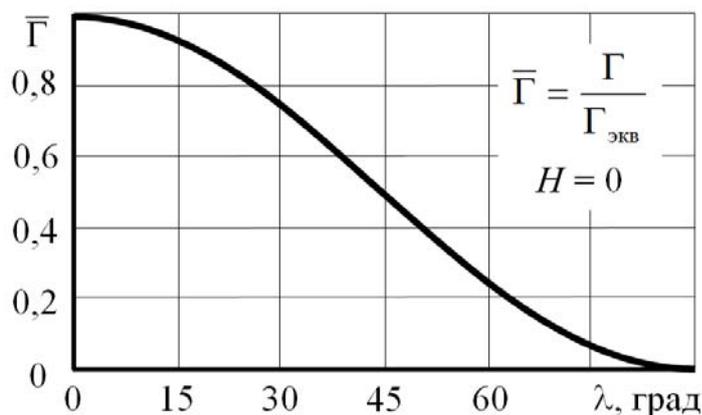


Рисунок 3 – Широтная вихревая характеристика $\bar{\Gamma} = f(\lambda)$ сред Земли в поле её суточного вращения в плоскости экватора

Анализ зависимости $\bar{\Gamma} = f(\lambda)$ показывает, что относительная циркуляция $\bar{\Gamma}$ представляет собой кривую тригонометрической функции « $\cos^2 \lambda$ » с максимумом на экваторе, нелинейным характером протекания и тенденцией к обнулению на полюсах Земли. Следствия широтной вихревой характеристики также будут представлены ниже.

По мнению автора статьи, в силу расположения вектора циркуляции скорости Γ на полярной оси NS и гладкой формы осреднённой сферической поверхности Земли, широтные вихревые характеристики её сред следует представлять в форме погонной плотности циркуляции « γ », равномерно распределённой по контуру циркуляции $l(\lambda)$ в проекциях горизонтальной (тангенциальной γ_t) и радиальной (нормальной γ_n) составляющих (см. рис. 1).

Для решения этой задачи необходим переход от сосредоточенного представления циркуляции скорости Γ на Полярной оси к погонной плотности циркуляции $\gamma(\lambda)$ [Даниленко, Кривель, Пахомов, 2011], что также упростит работу с громоздким по числу элементов выражением циркуляции скорости $\Gamma(\lambda)$ – см. (1), (2) и (3).

Определение погонной плотности циркуляции позволяет выйти на упрощённое математическое выражение Γ с последующим переходом на упомянутые нормальную и тангенциальные её составляющие (проекции).

Погонная плотность циркуляции γ – отношение циркуляции скорости $\Gamma(\lambda, \bar{H})$ к длине контура циркуляции $l(\lambda, \bar{H})$.

$$\gamma = \frac{\Gamma(\lambda, \bar{H})}{l(\lambda, \bar{H})},$$

где циркуляцию скорости Γ в числителе представляет математическое выражение (1), а длина $l(\lambda, \bar{H})$ кругового контура циркуляции определяется по длине окружности с радиусом циркуляции $r = R_3(1 \pm \bar{H}) \cos \lambda$. Тогда:

$$\gamma(\lambda, \bar{H}) = \frac{\Gamma(\lambda, \bar{H})}{l(\lambda, \bar{H})} = \gamma_\Sigma = \frac{2\pi \Omega_3 R_3^2 (1 \pm \bar{H})^2 \cos^2 \lambda}{2\pi R_3 (1 \pm \bar{H}) \cos \lambda} = \Omega_3 R_3 (1 \pm \bar{H}) \cos \lambda, \quad (4)$$

Различают следующие виды погонной плотности циркуляции [Даниленко, Кривель, Пахомов, 2011]:

– исходную суммарную (γ_Σ)

$$\gamma_\Sigma = \Omega_3 R_3 (1 \pm \bar{H}) \cos \lambda;$$

– нормальную (γ_n)

$$\gamma_n = \Omega_3 R_3 (1 \pm \bar{H}) \sin \lambda \cdot \cos \lambda;$$

– тангенциальную (γ_τ)

$$\gamma_\tau = \Omega_3 R_3 (1 \pm \bar{H}) \cos^2 \lambda.$$

Полученные математические выражения проекций погонной плотности циркуляции γ можно привести ещё к более простому виду $\bar{\gamma}$, каждый из которых будет зависеть только от тригонометрических функций. А именно:

$$\begin{aligned} \bar{\gamma}_\Sigma &= \frac{\gamma_\Sigma}{\Omega_3 R_3 (1 \pm \bar{H})} = \cos \lambda, \\ \bar{\gamma}_n &= \frac{\gamma_n}{\Omega_3 R_3 (1 \pm \bar{H})} = \cos \lambda \cdot \sin \lambda, \\ \bar{\gamma}_\tau &= \frac{\gamma_\tau}{\Omega_3 R_3 (1 \pm \bar{H})} = \cos^2 \lambda. \end{aligned} \quad (5)$$

Представим проекции относительной безразмерной плотности циркуляции в графическом виде, удобном для анализа и восприятия физических процессов циркуляции сред Земли, которую они отождествляют.

Графическое изображение широтных вихревых характеристик представлено на рисунке 4. Характерными точками характеристик являются:

- точка на экваторе с её максимальным уровнем суммарной и тангенциальной циркуляции;
- полярные точки N и S с их нулевой вихревой активностью, определяемой отсутствием контура циркуляции ($l(\lambda, H) = 0$);
- особо характерная точка « O » широтных вихревых характеристик Земли – точка равенства нормальной $\bar{\gamma}_n$ и тангенциальной $\bar{\gamma}_\tau$ погонной плотности циркуляции вертикальной и горизонтальной ориентации соответственно. Этой точке и примыкающей к ней полосе ($45 \pm 15^\circ$) принадлежит свойство «пояса» естественной максимальной вертикально ориентированной вихревой активности атмосферной среды в генерации и формировании циклонических вихрей и их смерчей.

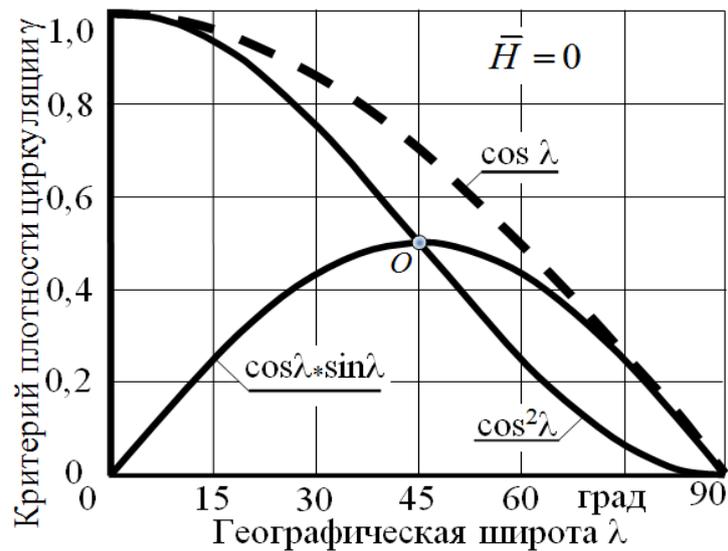


Рисунок 4 – Графическое представление широтных характеристик вихревого поля сред Земли в критериальных параметрах

Более глубокий анализ высотных и широтных вихревых характеристик Земли и Солнца [Даниленко, Кривель, Пахомов, 2011; Даниленко, 2008] в поле их суточного вращения позволяет автору статьи предложить пакет следствий взаимосвязи физической сущности многих загадочных физических и геофизических явлений с источниками их генерации, рабочий процесс которых пока не установлен по ряду субъективных и объективных причин.

Например, всем известный «Великий Западный перенос», открытый на границе 19-го и 20-го веков при эксплуатации морских лайнеров по маршруту Англия – США, – продукт западной циркуляции ветра и морских волн. По сути рабочего процесса исследуемого вихревого поля Земли [Даниленко, Кривель, Пахомов, 2011; Даниленко, 2008], «Западный перенос» – продукт интерференции высотной ($\bar{H} > 1,0$) циркуляции атмосферных масс с циркуляцией всех сред Земли, охваченных её осреднённой поверхностью.

Следует отметить, что этот вид интерференции давно известен из законов Теоретической механики [Тарг, 1974], изложенных в разделе «Теория тела вращения, имеющего одну неподвижную точку». Отметим, подобным образом с Землёй интерферируют не только циркуляционное поле её атмосферы, но и продукт этого поля – циклоны средних и экваториальных широт. Они же,

интерферируя друг с другом, являются движителем и источником переноса глобальных вихревых воздушных масс и влаги по континентам Земли.

Как видим, сущность рабочего процесса многих геофизических явлений может быть установлена либо дополнена в опоре на вихревое поле Земли [Даниленко, Кривель, Пахомов, 2011; Даниленко, 2008; Тарг, 1974], как следствие её суточного вращения. Познание этого поля – факт формирования основ новой науки, способной в вихревом подходе решать насущные проблемы физических и геофизических явлений не только на Земле [Даниленко, 2004], но и на Солнце [Даниленко, 2007].

Следствия вихревого поля вращения Земли

1. В процессе суточного вращения Земля во всех своих средах формирует постоянно действующее вихревое поле, интенсивность которого определена глобальной циркуляцией тангенциальной скорости c_τ её частиц по установленным законам и закономерностям (1) и (5). Упрощённая модель вихревого поля Земли представлена на рисунке 5.

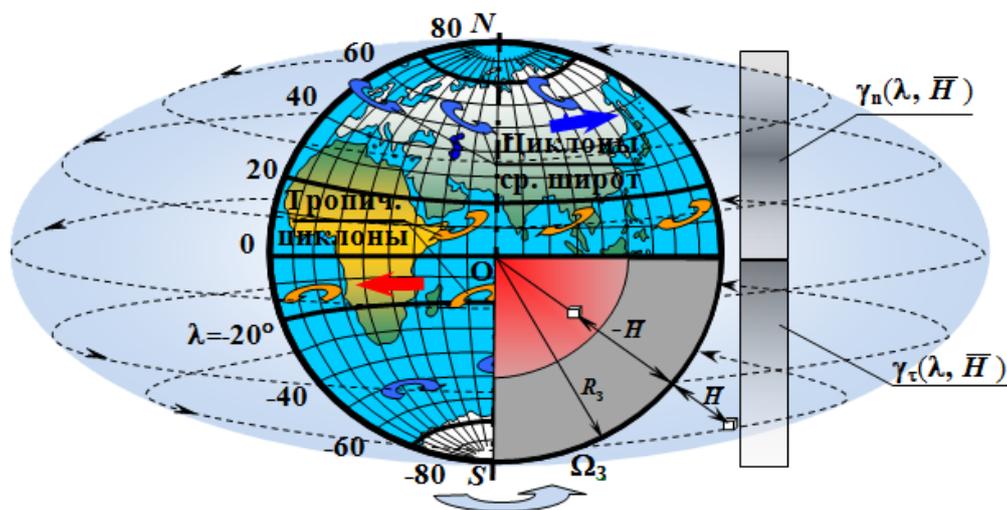


Рисунок 5 – Модель вихревого поля Земли в процессе суточного её вращения относительно Полярной оси NS

2. Вихревое поле Земли наделено вихревыми характеристиками [Даниленко, Кривель, Пахомов, 2011], определяющими вихревые свойства всех её сред – модуль, интенсивность и направление циркуляции скорости Γ .

3. Максимум циркуляции $\Gamma(\lambda)$ и её плотности $\bar{\gamma}$ приходится на экватор ($\lambda = 0$), где вихревая активность сред Земли определена горизонтально ориентированной циркуляцией $\bar{\gamma}_\tau$, интенсивность которой растёт вместе с увеличением относительной высоты \bar{H} положения исследуемой частицы над уровнем средней поверхности нашей планеты.

4. Минимум циркуляции $\Gamma(\lambda)$ и её плотности $\bar{\gamma}$ приходится на полюса N и S : ($\lambda = \pm 90^\circ$), где радиус контура циркуляции $r(\lambda, \bar{H})$ стремится к нулю.

5. По географической широте Земли λ суммарная циркуляция определена как горизонтальной $\bar{\gamma}_\tau$, так и нормальной $\bar{\gamma}_n$ по отношению к плоскости горизонта составляющими.

6. Максимум модуля нормальной циркуляции приходится на географическую широту $\lambda = 45^\circ$, что соответствует широте формирования циклонов и ураганов средних широт, особенно в зоне их географической активности на юге США у берегов Мексиканского залива [Даниленко, 2004].

7. Максимум градиента ($\partial \bar{\gamma}_\tau / \partial \lambda$) горизонтально ориентированной вихревой активности приходится на субтропические широты – зоны формирования разрушительных тропических тайфунов антициклонического вращения дифференциального типа, возникающих на больших высотах.

8. В средних широтах Земли имеют право на существование как вертикально ориентированные смерчи (и их аналоги – вихри входных устройств ГТСУ ВС), так и горизонтально ориентированные атмосферные фронты и их аналоги – вихри между воздухозаборниками парных мотогондол, либо мотогондолы и фюзеляжа ВС (рисунки 6 и 7).



Рисунок 6 – Атмосферный фронт
[<https://fs00.infourok.ru/>]



Рисунок 7 – Вихревая система ГТСУ ВС
[AIRLINERS.NET]

9. Вихревая циклоническая активность средних и приполярных широт генерирует антициклоническую закрутку падающего холодного потока над полярными шапками Земли. В сочетании с антициклонической закруткой в поле активного отклоняющего действия силы Кориолиса этот растекающийся антициклонический вихрь является источником дрейфа полярных льдов и формирования погоды в зоне местных аэродромных узлов и полярного судоходства.

10. Антициклоническая закрутка, генерируемая у земли в районе экваториальных широт, является следствием роста циркуляции скорости по высоте и источником формирования ветров «Пассаты».

Возможны и другие следствия вихревого поля вращения Земли, определяемые нерешёнными геофизическими проблемами [Наливкин, 1969; Наливкин, 1984; Хромов, Петросянц, 2001].

Следствия вихревых характеристик Солнца в поле суточного вращения

Солнце представляет собой планету, содержащую жидкую ионизированную солнечную материю.

В поле суточного вращения солнечной среде присущи те же свойства и характеристики, которые установлены для сред Земли. Следовательно, эти свойства наводят подобные следствия. Но в поле суточной циркуляции

ионизированная солнечная материя приобретает дополнительные свойства и следствия. А именно:

1. Циркуляция экваториальных и средних слоёв солнечной материи генерирует в её ионизированной среде активное магнитное поле с нормальным расположением полюсов NS .

2. Активная циркуляция внешних и средних слоёв наводит внутри Солнца антициркуляционное течение и генерирует внутреннее магнитное поле противоположного направления SN .

3. В поле проявления вязкости и турбулентного перемешивания жидкой среды Солнца между ними происходит обмен циркуляцией. В силу гистерезиса этого процесса магнитное поле внутренней солнечной материи с антициклоническим вращением переходит в состояние определяющего поля. Наступает фаза начала циклической смены магнитных полюсов. Во второй половине этого переходного процесса магнитные полюса Солнца переходят исходное состояние. Таким образом, Солнце, не меняя своей физической ориентации, генерирует уникальную смену магнитных полюсов.

4. На Солнце отмечаются локальные магнитные аномалии с пиковой магнитной активностью и тёмными пятнами. Это естественно. Раскрутка солнечных циклонов на стыке экваториальных и средних широт сопровождается активным выбросом во внешнюю среду сгустка магнитного поля в виде вихревого магнитного кольца, способного к поступательному перемещению вдоль его продольной оси, называемому «магнитной бурей». Физика такого перемещения магнитного вихревого кольца известна – зеркальный газодинамический эффект (эффект Прандтля).

5. Раскрутка солнечного циклона сопровождается ростом вихревой и кинематической активности с формированием вихревой трубки, переходящей в коническую «улитку» с пиком скорости у её доньшка. Как следствие, в указанном месте реализуется максимум (пик) магнитного поля, генерируемого вращательным (циркуляционным) движением ионизированной солнечной материи вокруг оси солнечного циклона. Очевидно, что на фоне активного

свечения примыкающей плоской поверхности Солнца вихревая трубка и коническая улитка приобретут свойство «невидимки» – тёмного пятна (рисунок 8), работающего на эффекте «колодца». И только в центре улитки иногда появляются малые световые вспышки, что отмечалось астрономами США.

6. Наличие пары солнечных циклонов одинакового вращения генерирует между ними зону «застоя» – встречного торможения вихревой среды, сопровождаемого выдавливанием более горячей и яркой солнечной материи на поверхность в виде отдельных пятен или «озёр». Такая пористая картина мелких белых пятен (рисунок 9) возможна при наличии на поверхности Солнца тонкой пористой шлакообразной скорлупы, заметной по растущим кристаллам на краю тёмных пятен (рисунок 8).

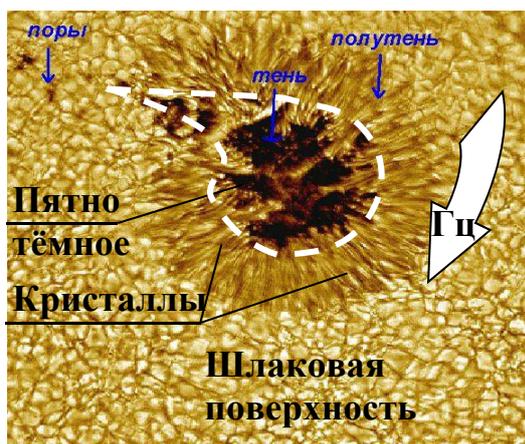


Рисунок 8 – Структура тёмного пятна в ядре улитки циклона

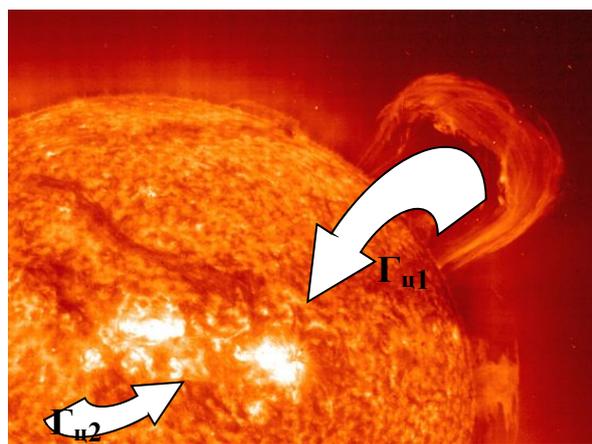


Рисунок 9 – Пятна антициклона в зоне встречного торможения среды циклонов

7. Основы теории вихревого поля вращения планеты не противоречат установленному учёными США активному циклоническому движению экваториальной части солнечной материи по отношению к движению материи средних широт. Такой кинематический процесс позволяет утверждать о формировании циркуляцией скорости Γ Земли моментного поля ($M = f(\lambda, \bar{H})$) полушарий планеты при её суточном вращении $\Omega = \text{const}$.

Именно это поле движет во вращении планеты ионизированную солнечную материю, свободно взвешенные газовые и жидкие среды Земли и является движущей силой перемещения и вращения континентов, продуктом

которого становятся мощнейшие землетрясения, извержения вулканов, глобальные циркуляции с их атмосферными фронтами, циклонами и смерчами, математически подтверждаемые теоремой Стокса, изучаемой в курсе газовой динамики и аэродинамики. Как видим, из теоремы Стокса вытекает вся цепочка загадочных газодинамических и геофизических явлений.

$$\Gamma = \oint_l c_\tau dl = 2 \iint_s \omega ds = I, \text{ следовательно: } M_\Gamma = f(\Gamma, I, \omega) = f(\Omega_3).$$

Заключение. Следует отметить, что приведенный перечень сущности рабочего процесса предлагаемых в настоящей статье физических явлений далеко не полон. Есть надежда на его пополнение при использовании специалистами газовой динамики, метеорологии и других составляющих геофизики основ предлагаемой теории вихревого поля, его закономерностей, вихревых характеристик и их следствий.

Библиографический список

1. Аубакиров Т. О. Нелинейная теория крыла и ее приложения / Т. О. Аубакиров, С. М. Белоцерковский, А. И. Желанников, М. И. Ништ. Алматы: "ГЫЛЫМ", 1997. 448 с.
2. Аэродинамика боевых летательных аппаратов и гидравлика их систем / под ред. М. И. Ништа. М.: ВВИА им. проф. Н. Е. Жуковского, 1994. 570 с.
3. Белоцерковский С. М. Отрывное и безотрывное обтекание тел потоком идеальной несжимаемой жидкости / С. М. Белоцерковский, М. И. Ништ. М.: Наука, 1978. 351 с.
4. Даниленко Н. В. Прецессия изолированного циклонического вихря в поле вращения Земли // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2008. № 2 (34). С. 20-23.
5. Даниленко Н. В. Пятна на Солнце // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2007. № 1-1 (29). С. 85-92.
6. Даниленко Н. В. Теория вихрей перед воздухозаборниками самолетов при работе газотурбинных двигателей на аэродроме / Н. В. Даниленко, П. М. Кривель, С. В. Пахомов и др.: монография, изд. 2-е, дополненное. ISBN 978-5-8038-0685-1. Иркутск: ИрГТУ, 2011. 348 с.
7. Даниленко Н. В. Торнадо // Вестник ИрГТУ. 2004. Выпуск 2 (18). С. 64-72.
8. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа. М.: Наука, 1970. 904 с.
9. Наливкин В. Д. Смерчи. М.: Наука, 1984. 112 с.

10. *Наливкин Д. В.* Ураганы, бури и смерчи. Л.: Гидрометеиздат, 1969. 487 с.
11. *Самойлович Г. С.* Гидро-газодинамика. М.: Машиностроение, 1990. 469 с.
12. *Тарг С. М.* Краткий курс теоретической механики. М.: Наука, 1974. 416 с.
13. *Хромов С. П.* Метеорология и Климатология: Учебник / С. П. Хромов, М. А. Петросянц. М.: МГУ, 2001. 527 с.

References

1. *Aubakirov T. O.* Non-linear wing theory and its applications / T. O. Aubakirov, S. M. Belocerkovskij, A. I. Zhelannikov, M. I. Nisht. Almaty: "GYLYM", 1997. 448 p. (in Russian)
2. Aerodynamics of combat aircraft and hydraulics of their systems / ed. by M. I. Nisht. M.: Zhukovsky Air Force Engineering Academy, 1994. 570 p. (in Russian)
3. *Belocerkovskij S. M.* Separated and unseparated flow of ideal incompressible fluid around a body / S. M. Belocerkovskij, M. I. Nisht. M.: Nauka, 1978. 351 p. (in Russian)
4. *Danilenko N. V.* Precession of an isolated cyclonic swirl in the Earth's rotation area // Bulletin of Irkutsk State Technical University. 2008. № 2 (34). P. 20-23. (in Russian)
5. *Danilenko N. V.* Solar spots // Bulletin of Irkutsk State Technical University. 2007. № 1-1 (29). P. 85-92. (in Russian)
6. *Danilenko N. V.* Theory of vortices in front of aircraft air intakes when operating gas-turbine engines on an airdrome / N. V. Danilenko, P. M. Krivel', S. V. Pahomov et al: monograph, 2nd edition, added. ISBN 978-5-8038-0685-1. Irkutsk: ISTU, 2011. 348 p. (in Russian)
7. *Danilenko N. V.* Tornado // Bulletin of Irkutsk State Technical University. 2004. Issue 2 (18). P. 64-72. (in Russian)
8. *Lojczanskij L. G.* Mechanics of liquids and gases. M.: Nauka, 1970. 904 p. (in Russian)
9. *Nalivkin V. D.* Whirlwinds. M.: Nauka, 1984. 112 p. (in Russian)
10. *Nalivkin V. D.* Hurricanes, storms and whirlwinds. L.: Gidrometeoizdat, 1969. 487 p. (in Russian)
11. *Samojlovich G. S.* Gas-hydrodynamics. M.: Mashinostroenie, 1990. 469 p. (in Russian)
12. *Targ S. M.* Brief course of theoretical mechanics. M.: Nauka, 1974. 416 p. (in Russian)
13. *Hromov S. P.* Meteorology and climatology: Course-book / S. P. Hromov, M. A. Petrosjanc. M.: МГУ, 2001. 527 p. (in Russian)