

УДК 551.14/.16:550.834+552.1+551.24

РОТАЦИОННЫЙ РИФТИНГ В АНТАРКТИДЕ

В.П. Коболев, Ю.П. Оровецкий

Институт геофизики НАН Украины, 03142, пр. Палладина, 32, Киев, Украина, e-mail: kobol@igph.kiev.ua

Реферат. Ротационный рифтинг – следствие вращательного движения Земли – сопровождается образованием планетарных экваториальных глубинных раздвигов. Неоднократное и разновековое пересечение ими древней глыбы Антарктиды привело к обширной зоне растягивания с одновременным формированием в ней глубинного мультимагматогена, что увенчалось становлением континента и превращением его в древнюю платформу.

Ротационний рифтинг в Антарктиді. В.П. Коболев, Ю.П. Оровецкий

Реферат. Ротационний рифтинг – наслідок обертового руху Землі – супроводжується утворенням планетарних екваторіальних глибинних розсувів. Неодноразове і різновікове перетинання ними стародавньої брили Антарктиди призвело до виникнення великої зони розтягання з одночасним формуванням в ній глибинного мультимагматогену, що закінчилося становленням континенту і перетворенням його на древню платформу.

Rotational rifting in Antarctica by V.P. Kobolev, Yu.P. Orovetsky

Abstract. The rotational rifting as a consequence of the rotational Earth's movement is accompanied by the formation of the planetary equatorial deep separations. Their repeated and no simultaneous intersections of the Antarctica ancient mother crystal had led to the origin of the large-scale spreading area with the synchronous formation of the deep multimagnetogene. This had been completed by the continent formation that transformed into the ancient platform.

Key words: Antarctica, rotational rifting, multimagnetogene.

1. Введение

Ротационный рифтинг является определяющим понятием в проблеме Горячих поясов Земли, поставленной в Институте геофизики НАН Украины в 1994 г. (Оровецкий, 1994) и разрабатываемой авторами в изданиях (Оровецкий и др., 2000, 2001, 2003). Его механизм связан непосредственно с ротационным режимом планеты. В теоретических трудах (Океанология, 1979; Сорохтин, Ушаков, 1991) этому критерию не придается особой значимости из-за одномоментной ничтожности его тектонических напряжений. Однако если принять во внимание ротационную сплюснутость фигуры Земли (величина сжатия геоида – $1/298,3$) с образованием в итоге наибольшей на ее поверхности тектонической антиформной структуры экваториального вздутия, то такое пренебрежение теряет свою убедительность. О том же свидетельствует наличие наибольших растягивающих напряжений на максимуме этого экваториального вздутия (Стовас, 1975; Burke, Wilson, 1976; Виноградов и др., 1980; Хаин и др., 1985). Скорее всего, тектонический фактор ротационных напряжений кроется в их постоянном, действующем в течение всего геологического времени, эффекте. Экватор характеризуется также наибольшей на Земле величиной центробежного ускорения силы тяжести ($q_{\text{об}} = - 3,392$ Гал), которое, в частности, отвечает и за динамику эндогенных процессов. Эмпирически показано (Burke, Wilson, 1976; Stothers et al., 1993), что основное количество горячих точек, как на Земле, так и на Солнце, располагается в приэкваториальных широтах. Горячие точки, как известно, отождествляются по своей природе с мультимагматогенами мантийных диапиров или плюмов. Их наличие подчеркивает существование в приэкваториальных широтах не только растягивающих напряжений (рифтинг), но также сопровождающей магматически проницаемой области, глубина заложения которой достигает внешнего ядра Земли или слоя E. Таким образом, представляется, что

рифтообразующая роль экваториальных широт Земли в процессе формирования ротационных глубинных раздвигов планетарного масштаба не должна вызывать сомнений.

Положив эти наблюдения в основу, нами предпринята попытка их перенесения в глубь геологического прошлого. При этом, как и в тектонике литосферных плит, в качестве базовой теоретической предпосылки был использован широко известный в палеомагнитологии научный постулат перемещения во времени и пространстве древних магнитных полюсов Земли. При отслеживании их траектории, общей для всей геологической истории, использовалось заключение не менее известной теоремы (Cox, Doell, 1960). Согласно этому заключению, эксцентриситет между географическим полюсом и осью магнитного диполя Земли нивелируется за период времени порядка 10^4 лет. Поэтому в геологическом времени им можно пренебречь.

Для осуществления эксперимента использовались координаты 51 палеомагнитного полюса из 15 крупнейших геотектонических провинций мира, почерпнутые из литературных данных. Однако, в отличие от традиционного в палеомагнитологии рассмотрения их взаимного размещения, нами анализировалось альтернативное пространственное положение палеомагнитных экваторов, автоматически и функционально связанных с палеомагнитными полюсами. В отличие от однокоординатных полюсов, палеомагнитные экваторы оказались более геоинформативными. Они пересекают большее число геологических структур, которые отображают характерные геотектонические эпизоды и поддаются, тем самым хронологическому анализу и корреляции. Их когерентное с полюсами перемещение связывается нами не с миграцией литосферных плит по пространственно дискретной верхней астеносфере, а с количественно охарактеризованными инерционными движениями всей оболочки Земли по поверхности ее слабвязкого субъядра (нижняя астеносфера в нашем понимании), которая не имеет морфологической дискретности.

В свое время А.В. Пейве (1961), рассматривая причины горизонтальных перемещений поверхности Земли, пришел к выводу, что они являются следствием гравитационно-инерционных сил, вызванных, в том числе и проявлением скачкообразных изменений угловой скорости вращения нашей планеты. П.Н. Кропоткин (1970), занимаясь историческим анализом этого феномена и ссылаясь на Н.Н. Парийского (1965) приходит к заключению об эндогенной его природе и связывает флуктуации угловой скорости вращения Земли с изменениями наибольшего главного момента ее инерции: $J = mR^2$, (m — масса, R — радиус). Раскрывая физическую сущность этого уравнения, подчеркнем, что при постоянной массе Земли, переменной величиной, непосредственно влияющей на изменение главного момента инерции, остается только ее радиус. Причиной тому, скорее всего, служат фазовые переходы первого рода в виде плавления и кристаллизации, спонтанно возникающие в местах нарушения термодинамики среды. При плавлении радиус Земли увеличивается, кристаллизация же, наоборот, приводит к его уменьшению. Представляется, что именно с этими трансформациями, согласно принципу главного момента инерции, испытывает соответствующие превращения и угловая скорость вращения Земли. При ее изменении высокоплотное и твердое внутреннее ядро инерционно продолжит свое вращение в слабвязком сферическом слое E . В случае увеличения угловой скорости, вращение ядра будет отставать от перемещения оболочки (западный дрейф), уменьшение же ее, наоборот, вызовет опережающее вращение ядра по сравнению с оболочкой (восточный дрейф), на возможность которого указывает В.Н. Жарков (1983). Упомянутый автор также считает, что ротационный режим Земли непосредственно отражается на создании стратифицированного поля гидродинамических скоростей в ее жидком субъядре. Иными словами, внешнее ядро в ротационном поле Земли обладает сферической симметрией, чем создаются оптимальные условия для латеральной миграции твердой оболочки путем «проскальзывания» ее по жидкофазной границе. Количественное выражение этого «проскальзывания» установлено и составляет 35 км/год (Гуттенберг, 1963; Джекобс, Рассел, 1964).

На фоне рассмотренного долготного перемещения спонтанные гравитационные неоднородности перемещаются также в широтном направлении. Причиной тому служит полюсобежная сила Этвеша, вызванная вращением геоида с разными полярным и

экваториальным радиусами. Ее одномоментность невелика, но в геологии известны многочисленные примеры, когда длительное воздействие подобных незначительных усилий приводит горные массивы к значительным деформациям. Результирующие этих ортогонально направленных и постоянно действующих ротационных сил порождают широкий спектр ортогональных перемещений. Поверхность Земли на такие глубинные пертурбации реагирует срывовыми и таким же постоянными разнонаправленными относительными срывовыми перемещениями.

Принимая во внимание приведенные теоретические рассуждения, думается, что основным критерием ондуляции угловой скорости вращения Земли со всеми вытекающими из него тектоническими особенностями является нерегулярное изменение ее радиуса, вызванное соответствующими фазовыми переходами или – магмогенезом. Поскольку его масштабы, согласно современным данным сейсмической томографии, достигают размеров гигантских трансмантйных магматогенов мантийных диапиров и плюмов, это заключение представляется близким к реальности. Находясь внутри оболочки Земли, эти мультимагматогены при своей ротационной миграции принудительно увлекают ее за собой и разворачивают в нужном направлении по сплошной, без перерывов, поверхности низковязкого субъядра. На поверхности такое перемещение будет зафиксировано палеомагнитным методом в виде перемещения древних магнитных полюсов относительно стационарного во все времена положения географических своих аналогов, что автоматически отразится также на изменении направления соответствующих палеомагнитных экваторов.

Представляет повышенный интерес обнаружение в последнее время сейсмотомаграфическими исследованиями в кровле внешнего ядра Земли крупных ультранизкоскоростных зон. По мнению (Olson et al., 1990; Lay et al., 1998) эти аномалии связаны с плавлением вещества при зарождении мантийных плюмов. В настоящее время они известны под Центральной частью Тихого океана, под Аляской и Исландией, то есть под древними и современными рифтогенами. К подобным мультимагматогенам, по нашим представлениям, относятся также суперплюмы - Красноморский и его пространственный типпод Туамоту, Центральноазиатский, Верхневолжский и др. Все они располагаются в области планетарного ротационного рифтинга, сопровождаются локальными нарушениями целостности мантии, ориентированными по радиусу Земли и достигают поверхности жидкого субъядра. Эти данные свидетельствуют о неразрывности ротационного рифтинга с интенсивным глубинным магматизмом.

Результаты предпринятого нами опыта оказались обнадеживающими. Из 51 палеомагнитных экваторов, составивших банк наших данных, на стереографических проекциях совершенно произвольно образовались две крупные разновозрастные группы (рис.1, 2). В более древней – домезозойской (рис.1) – палеомагнитные экваторы в низких широтах заняли субмеридиональные направления, а в мезозойской (рис.2) – субширотные. Эта грандиозная 90-градусная тектоническая перестройка произошла на границе палеозоя и мезозоя, примерно 230 млн. лет тому назад, и по своей кратковременности граничила с катастрофой (Катастрофы, 1986). К этому рубежу приурочено не только резкое изменение геомагнитного поля в сторону его прямой направленности (Стратиграфическая таблица, 1982) и связанного непосредственно со структурными изменениями во внешнем ядре Земли, не только обострение эндогенных процессов в виде планетарного плато-базальтового магматизма в Африке, Евразии, Индии и Южной Америке (Хаин, 1985), не только общая регрессия Мирового океана в перми (Vail, 1977), но также и изменение климата планеты в связи с изменившимся положением ее поверхности по отношению к стационарному направлению Солнечной радиации. Последнее привело к биотической катастрофе – вымиранию наибольшего за всю историю Земли количества семейств морских животных (Newell, 1967), не успевших в столь короткий срок адаптироваться к резко изменившимся экологическим условиям планеты. Это крупное тектоническое событие, как видим, нашло отражение во многих отраслях науки о Земле, но нигде не получило своего истолкования. По нашим представлениям, указанная перестройка непосредственно связана с миграцией в это время в экваториальные широты доминирующей на

Земле Восточно-Тихоокеанской гравитационной неоднородности (Оровецкий, 2002, Оровецкий, Коболев, 2003).

Палеомагнитные экваторы мезозоя заняли на стереографических проекциях (см. рис.2) субширотное положение, вплотную приближающее их к направлению современной тектонически ослабленной и рифтогенно потенциальной приэкваториальной области Земли. Поведение их домезозойских аналогов в основной своей массе указывает на соосность с

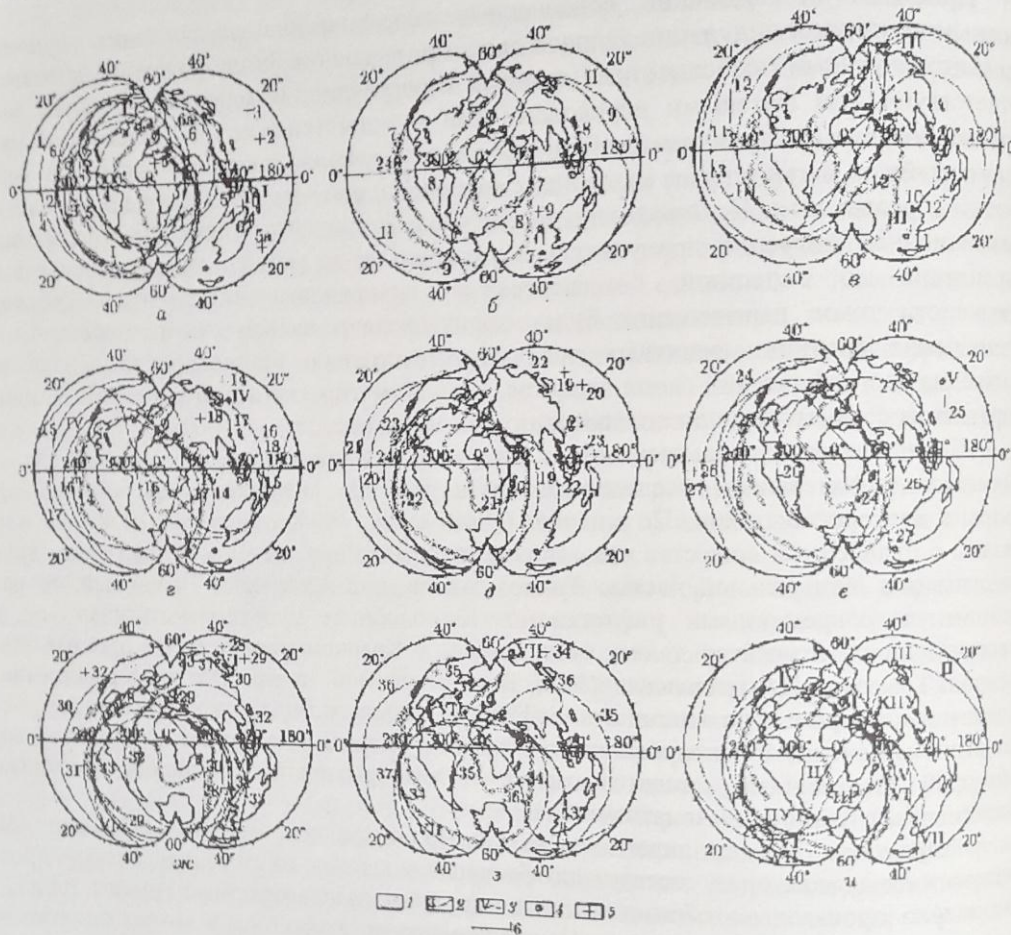


Рис. 1. Схема расположения домезозойских палеомагнитных экваторов Земли – дофанерозойских (а), кембрийских (б), ордовикских (в), силурийских (г), девонских (д, е), карбоновых (ж), пермских (з), осредненных домезозойских (и). 1-срединно-океанические хребты; палеомагнитные полюса: 2-частные (Оровецкий и др., 2003).

георифтогенами срединно-океанических хребтов (рис. 1) Учитывая тектонически преопределяющую роль палеомагнитных экваторов, приходим к заключению не только о возрасте, нежели это принято сейчас. К такому выводу нас побудила рекуррентность тектоники в срединно-океанических хребтах – возвращение молодых палеомагнитных экваторов (19), (20), (25), (34) и др. к своему изначальному (2), (3), (6) положению (рис. 1).

Это означает, что указанные геоструктуры с их ротационным рифтингом, воздыманием и глубинным магматизмом являются интегральными тектоническими сооружениями. По сути, они представляют собой древние (в основном протерозойские), ротационного происхождения геотектонические образования, постепенно сложившиеся в результате интенсивного и перманентного магматизма по тектонически ослабленным приэкваториальным зонам Земли.

Множественное наложение более молодого тектономагматизма привело к редукции или полному исчезновению предыдущих признаков георифтогеналей, кроме их генеральных направлений. Отсюда возникло широко распространенное мнение об их относительной молодости. Однако в этих случаях, думается, речь должна идти не о времени заложения срединно-океанических хребтов с их рифтогенами, а о событиях последней тектономагматической активизации этих глобальных структур растяжения.

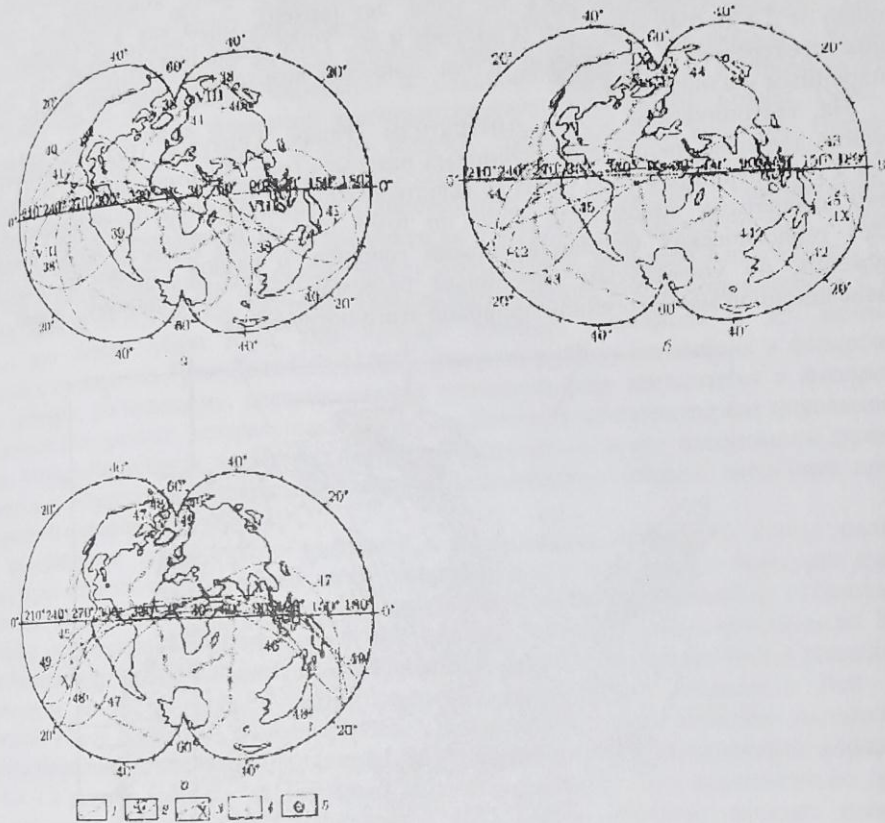


Рис. 2. Схема расположения мезозойских палеомагнитных экваторов Земли в триасе (а), юре (б) и мелу (в). 1-срединно-океанические хребты; палеомагнитные экваторы: 2-частные с их номерами, 3-осредненные; палеомагнитные полюса: 4-частные с их номерами, 5-осредненные. (Оровецкий и др., 2005).

Георифтогенали срединно-океанических хребтов продолжают себя в континентальных своих аналогах, совпадающих с ними не только по палеомагнитному возрасту, но и по геологическим данным (Оровецкий, Кобелев, 2001-2003). Это наводит на мысль о возможной протерозойской рифтогенной делимости, общей как для континентальной, так и океанической земной коры, что сближает их по возрасту (Блюман, 1998).

2. Результаты исследований

Главные особенности геологического строения Антарктиды скрыты от наблюдения мощным ледяным покровом. Поэтому получение новых независимых данных и корреляция их с результатами предыдущих исследований, полученных в основном на континентальной

окраине, представляется существенным подспорьем в познании этого, во многом еще загадочного континента. Сказанное относится преимущественно к изучению его рифтогенной природы. В связи с этим известный исследователь Антарктики Грикуров Г.Э. (1989) считает, что накопившийся материал, в первую очередь геолого-геохронологические данные, позволяет аргументировано проследить признаки рифтогенных процессов в глубь геологической истории. Практически с момента заложения антарктической земной коры прослеживается тенденция к ее деструкции, что выражается в развитии рифтоподобных и рифтовых зон на всех этапах тектонической эволюции (Грикуров, 1989). Изотопные U-Pb датировки наиболее древнего (рейнерского) антарктического изверженно-метаморфического комплекса в одном случае показали по эндробитам возраст 3.2 млрд. лет (архей), тогда как в остальных их разброс составил от 2.4 до 0.46 млрд. лет (Грикуров и др., 1978, Хаин, Божко, 1988), что соответствует ранним протерозою и фанерозою. Столь широкий возрастной диапазон можно связывать с полихронным магматизмом.

На тектонической схеме Антарктиды (Равич, Грикуров, 1973) обращает на себя внимание довольно частая сеть глубинных разломов (рис. 3), возникших на границе прото- и неогей и разделяющих в виде узких складчатых грабенов огромные блоки площадью в сотни и тысячи квадратных километров. Судя по тому, что на поверхности блоки имеют разный возраст геологических формаций, можно говорить о разной степени их денудации при погружении по упомянутым глубинным разломам, что, по-видимому, прямо связано с компенсационной магматогенной природой этого погружения.

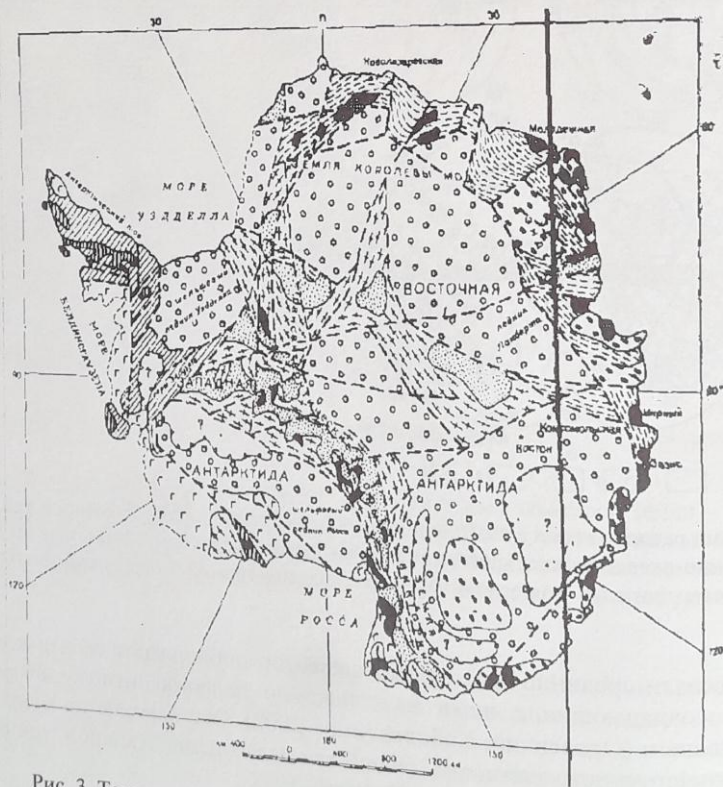


Рис. 3. Тектоническая схема Антарктиды (Гравич, Грикуров, 1972)

Согласно нашим построениям, один архейский (1), шесть протерозойских (2), (3), (3а), (4), (6), (6а) и девять палеозойских (7), (12), (13), (15), (16), (20), (21), (24), (26) палеомагнитных экваторов пересекают по разным направлениям материк Антарктиды (см. рис.1). Такое разное пересечение рифтообразующими палеомагнитными экваторами континентальной коры древней, еще планетозимальной (Оровецкий, Коболев, 2003), глыбы Земли в период с архея по

еще обширнейшей по своим масштабам области растяжения. В отличие от мнения Грикурова Г.Э., который связывает это растяжение с проблематичным «неравномерно-прогрессирующим расширением Земли» (Грикуров, 1989), мы приходим к выводу о существовании здесь конкретного явления ротационного рифтинга. Многократно повторяющееся рифтообразование, как указывалось выше, вызвало подъем из субъядерной области Земли цокольного суперплюма. Его внедрение и формирование не только обеспечило интенсивный полихронный, кратный проявлениям ротационного рифтинга, магматизм в Антарктиде и привело к образованию мегасвода, но и, по всей видимости, стало основной причиной образования ее материка и превращения его в древнюю платформу. Наличие в недрах Антарктиды мультимагматогена косвенно подтверждается данными формационного анализа. По его результатам, в стратиграфическом разрезе древней Антарктической платформы с венда по четверть периодически отмечаются перерывы в осадкообразовании, а в промежутках – распространение маломощных формаций континентального типа (Хаин, Божко, 1988), что знаменует высокое стояние рельефа в этот отрезок геологического времени. Внедрение суперплюма осуществлялось, главным образом, под восточную часть материка, где сейчас наблюдается горстовое его строение. Одновременно происходило компенсационное погружение соседних регионов Западной Антарктиды и фундамента морей Росса и Уэдделла. Граница этой компенсации проходит сейчас между Восточной и Западной Антарктидой в виде складчатой, длиной до 4 тыс. км, системы Трансантарктических гор и сопряженных с ними складчатых зон Земли Мэри Бэрд, гор Улсуэрт Уитмор, Пенсакола и др. Время их формирования, по мнению Грикурова Г.Э. (1989), отвечает рубежу докембрия и фанерозоя. К этому же времени, по-видимому, следует отнести основную фазу магматизма в Антарктиде, разноразмерное погружение центральных блоков, сопровождаемое некоторым опусканием ее мегасвода. Мезо-кайнозойская история суперплюма выразилась в его автономном развитии, что вылилось в мощную завершающую плитную авлакогенную стадию эволюции древней Антарктической платформы.

О прекращении ротационного рифтинга в Антарктиде, начиная с конца палеозоя, свидетельствует отсутствие в это время на ее территории, палеомагнитных экваторов (рис. 2). Уже в мезозое они покидают ее древний материк, приближаясь к современной субширотной, тектонически ослабленной и потенциально рифтогенной, приэкваториальной области Земли, оставляя Антарктиду на том же месте. Результаты тектонофизического изучения планетарной трещиноватости в эффузивных и интрузивных породах залива Шарлотта Бей также подтверждают вывод о том, что в мезо-кайнозойские участки земной коры западной Антарктики и юго-востока Восточноевропейской платформы были ориентированы относительно стран света так же, как и в данное время, и не изменяли своего положения один относительно другого (устное сообщение Гинтова О.Б., Беличенко П.В.). Таким образом, следует вывод об отсутствии каких-либо пространственных перемещений Антарктического континента в мезо-кайнозойское время.

Выводы

Ротационный рифтинг является следствием вращательного режима Земли и сопровождается глубинным магматизмом.

Шестнадцатикратное разновозрастное и разнонаправленное проявление ротационного рифтинга в Антарктиде привело к образованию обширнейшей области растяжения древней, еще планетозимальной, глыбы Земли. Это вызвало подъем из слоя Е мультимагматогена, формирование которого стало основной причиной образования Антарктического материка и превращения его в древнюю платформу.

Благодарности. Авторы благодарны Украинскому Антарктическому центру за финансовую поддержку проекта „Комплексные геофизические исследования в районе УАС

Академик Вернадский с целью изучения структуры земной коры и построения геодинамической модели региона", в рамках которого выполнена настоящая работа. В краткой журнальной статье невозможно осветить все проблемы, связанные с ротационным рифтингом, более широко они будут представлены в нашей монографии «Горячие пояса Земли», которая готовится к выходу в Институте геофизики НАН Украины в 2005 году.

Литература.

- Блюман Б.А. Земная кора континентов и океанов (анализ геолого-геофизических и изотопно-геохимических данных). - С-Петербург, 1998. - 152 с.
- Виноградов Л.А., Богданова М.Н., Ефимов М.М. Гранулитовый пояс Кольского полуострова. - Л., Наука, 1980. - 208с.
- Грикуров Г.Э., Значко-Яворский Г.А., Каменев Е.П. и др. Объяснительная записка к геологической карте Антарктиды. М1:10 000 000. Л., НИИГА, 1978.
- Грикуров Г.Э. Континентальный рифтогенез в домезозойской эволюции земной коры Антарктиды. Тектонические процессы. - М., Наука, 1989. - С.172-183.
- Грикуров Г.Э. Геология Антарктического полуострова. - М., Наука, 1973. - 120с.
- Гуттенберг Б. Физика земных недр. - М., ИЛ, 1963. - 384с.
- Джекобс Дж., Рассел Р., Уилсон Дж. Физика и геология. - М., ИЛ, 1964. - 275с.
- Жарков В.И. Внутреннее строение Земли и планет. - М., Наука, 1983. - 416с.
- Катастрофы и история Земли. Новый униформизм. - М., Мир, 1986. - 471с.
- Кропоткин П.Н. Возможная роль космических факторов в геотектонике. // Геотектоника. - 1970. - №2. - С.30-46.
- Океанология. Геофизика океана. Т.2. Геодинамика. - М., Наука, 1979. - 416с.
- Оровецкий Ю.П. Горячие пояса в докембрийской истории Восточно-Европейской платформы. // Докл. АН Украины. - 1994. - №10. - С.106-112.
- Оровецкий Ю.П., Третьяк А.Н., Вигилянская Л.И. Альтернатива в методологии палеомагнетизма (тектонические следствия). // Доп. НАН України. - 2000. - №1. - С.119-123.
- Оровецкий Ю.П., Третьяк А.Н., Вигилянская Л.И. Сравнительный геоструктурный анализ поверхностей геоида, мантии и субъядра Земли (геотектонические следствия). // Доп. НАН України. - 2000. - №2. - С.118-122.
- Оровецкий Ю.П., Коболев В.П., Вигилянская Л.И. Персидско-Британский горячий пояс. // Доп. НАН України. - 2001. - №11. - С.105-110.
- Оровецкий Ю.П., Коболев В.П., Трипольский А.А. и др. Карско-Оманский горячий пояс. // Доп. НАН України. - 2001. - №12. - С.106-110.
- Оровецкий Ю.П., Коболев В.П., Трипольский А.А. и др. Восточно-Европейско-Мозамбикский горячий пояс. // Доп. НАН України. - 2002. - №2. - С.127-132.
- Оровецкий Ю.П., Коболев В.П., Трипольский А.А. И др. Патагоно-Аляскинский горячий пояс. // Доп. НАН України. - 2002. - №4. - С.132-136.
- Оровецкий Ю.П., Коболев В.П., Трипольский А.А. и др. Горячий пояс Гренвилл (Северная Америка). // Доп. НАН України. 2002. - №7. - С.124-130.
- Оровецкий Ю.П. Корреляция геоструктур главных поверхностей Земли. // Геофиз. журн. - 2002. - т.24, №4. - С.102-108.
- Оровецкий Ю.П., Коболев В.П., Вигилянская Л.И. Восточно-Индокоеанский горячий пояс. // Доп. НАН України - 2002. - №9. - С.110-114.
- Оровецкий Ю.П., Вигилянская Л.И., Гонтовая Л.И. Палеомагнитные экваторы Земли (геотектонические следствия). // Вулканология и сейсмология. - 2002. - №6. - С.71-78.
- Оровецкий Ю.П., Коболев В.П., Вигилянская Л.И. Ротационно-гравитационный механизм миграции оболочки Земли (концептуальный аспект). // Доп. НАН України. - 2003. - №2. - С.124-131.
- Парийский Н.И. Изменение длины суток и деформация Земли. // Тр. Геофиз. ин-та АН СССР. - Изд. АН СССР, 1965. - №26 (153). - С.45-56.

- Пейве А.В. Тектоника и магматизм. // Изв. АН СССР. Сер. геол. – 1961. – №3. – С.57-69.
- Сорохтин О.Г., Ушаков С.А. Глобальная эволюция Земли. - Изд. МГУ, 1991. – 446 с.
- Стовас М.В. Избранные труды. - М., Недра, 1975. -Ч.1. - 155 с.
- Стратиграфическая таблица. - Изд. Мингео СССР (ВСЕГЕИ). Л., 1982.
- Ханн В.Е. Региональная тектоника. Океаны. Синтез. - М., 1985. - 292 с.
- Ханн В.Е., Божко Н.А. Историческая геотектоника. Докембрий. - М., Недра, 1988. -
- 582с. Burke K., Wilson J.T. Hotspots on the Earth's surface. // Sci. Am. – 1976. – N 235. - P. 45-57.
- Сох А., Doel R. Review of paleomagnetism. // Bull. Geol. Soc. Amer. – 1960. - V. 71, N 71, N 6. - P. 645-758.
- Lay T., Williams Q., Garnero E.J. The core-mantle boundary layer and deep Earth's dynamic. // Nature. – 1998. - V.392, N 2. - P.461-468.
- Newel N.D. Revolution in the history of life. // Geol. Soc. Amer. Spec. Papers/ - 1967. - V. 89. - P. 63-71.
- Olson P., Silver P.G., Carlson R.W. The large-scale structure on convection in the Earth's mantle. // Nature. – 1990. - V. 344, N15. - P. 209-215.
- Stothers R.B. Hotspots and Sunspots: surface traces of deep mantle convection in the Earth and Sun. // Earth and Planet Sci. Let. – 1993. - V. 6. - P.1-8.