

УДК 551.24(99)

ТЕКТОНИКА АНТАРКТИДЫ ВО ВЗГЛЯДАХ РОССИЙСКИХ ИССЛЕДОВАТЕЛЕЙ

E. B. Михальский

ВНИИОкеангеология, Санкт-Петербург

Поступила в редакцию 30.10.06

Приведен обзор некоторых принципиально важных схем тектонического строения Антарктиды, созданных за 50-летний период геологического изучения материка отечественными учеными. Отмечены наиболее важные положения моделей тектонического строения, предложенные П.С. Вороновым, Л.В. Климовым, М.Г. Равичем и др. Показано влияние развивающихся изотопно-геохронологических методов изучения на формирование представлений о строении и характере эволюции Антарктиды. Рассмотрены некоторые аспекты геологического строения материка и результаты разнообразных современных изотопных исследований, имеющих важное значение для понимания особенностей его развития.

Регулярные геологические исследования антарктического континента выполняются с середины 1950-х гг. Более ранние наблюдения и публикации в период с конца XIX столетия до Международного геофизического года (1957/1958 гг.) обобщены в работе А.И. Шалимова [22] (рис. 1, а). Геоморфологические особенности и известные к тому времени черты строения отдельных регионов материка позволили выявить в его пределах четыре крупных структурных элемента: 1) эпиархейская платформа Восточной Антарктиды (Антарктическая платформа); 2) активизированные зоны платформы Восточной Антарктиды (горст Земли Виктории и горы Королевы Мод); 3) складчатый пояс Западной Антарктиды; 4) депрессия Уэдделла-Росса (грабен Уэдделла—Росса) [22, 31]. Предполагалось, что эпиархейская платформа занимает большую часть площади географически выделяемой Восточной Антарктиды и фундамент ее сложен древним кристаллическим комплексом, выделяемым в качестве Антарктического щита.

Заложенные ранними исследованиями базовые представления о геологическом строении материка не претерпели существенных изменений вплоть до настоящего времени. Последующие работы и дискуссии преимущественно разворачивались вокруг проблем природы и взаимоотношений выделенных структур, а также проблем тектонической классификации этих структур и тектонического районирования материка. Фактологической основой созданных в те годы тектонических реконструкций служили данные рекогносцировочных и геолого-съемочных работ, выполнявшихся отечественными специалистами с конца 1950-х до середины 1980-х гг. практически на всех экспонированных участках Восточной Антарктиды, а также в некоторых районах Западной Антарктиды, и резуль-

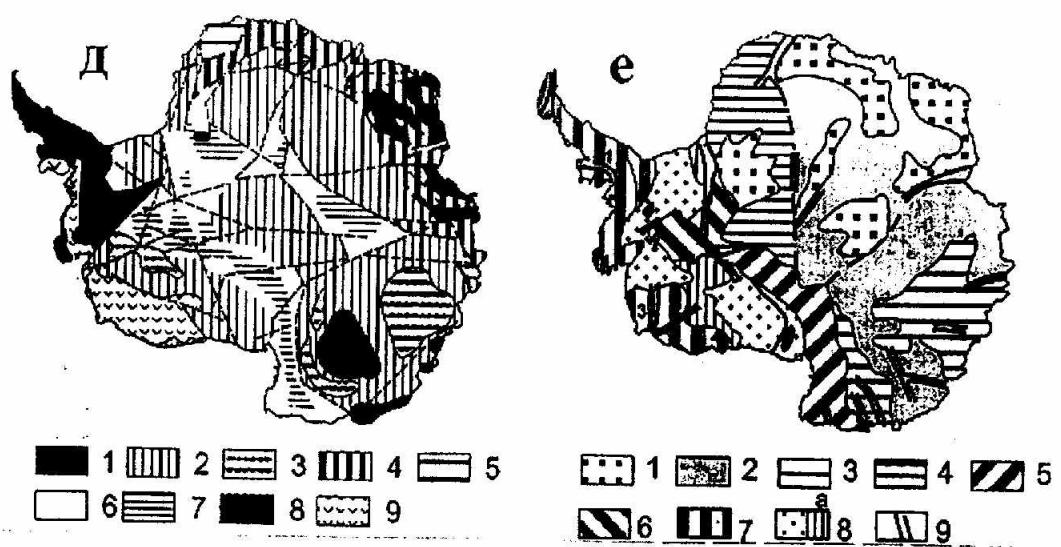
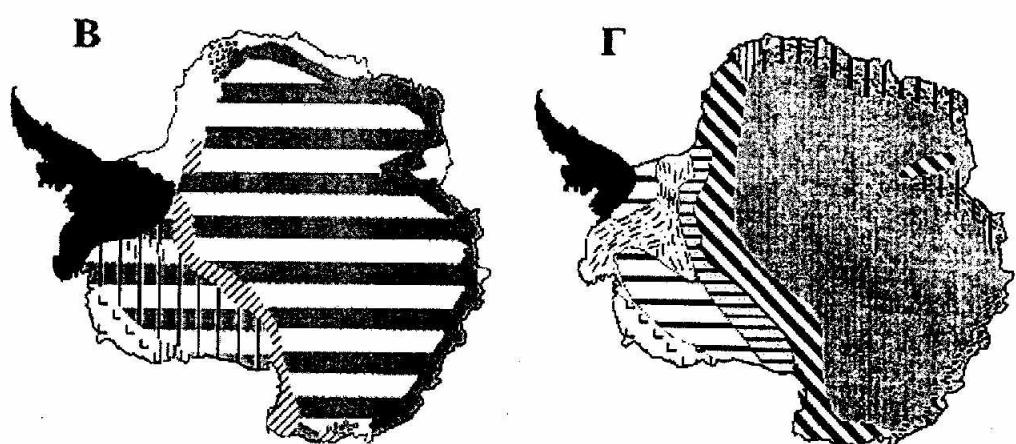
таты первых изотопно-геохронологических исследований ($K-Ag$ - и $Rb-Sr$ -методы). Этот период можно условно выделить в качестве “раннего этапа”. Начиная с конца 1980-х гг. применяются $Sm-Nd$ - и $U-Pb$ -методы датирования пород с помощью локального ионного зондирования высокого разрешения (SHRIMP) по цирконам и другим акцессорным минералам. Можно считать, что с широким внедрением этих методов в начале 1990-х гг. начался и новый (“современный”) этап в изучении геологического строения Антарктиды.

Ранний этап исследований

Развитие представлений о геологическом и тектоническом строении Восточной Антарктиды после Международного геофизического года осуществлялось на обширной геолого-геофизической базе, сформированной планомерными и систематическими исследованиями в различных районах материка. Синтез $K-Ag$ - и $Rb-Sr$ -изотопных методов послужил основой для создания первых схем геологического строения и тектонического развития [5, 19, 28]. В 1970-х гг. стали применяться также $U-Th-Pb$ и $Pb-Pb$ -изотопные методы, с помощью которых в Антарктиде были выявлены древнейшие на планете раннеархейские горные породы (около 4 млрд лет¹, [20]).

Вопросы тектонического строения и эволюции Антарктиды были предметом острых дискуссий между участниками первых отечественных экспедиций [1, 2, 12, 15–17, 40, 54] и с тех пор постоянно интересами российских исследователей [18, 33]. Наиболее острым вопросом было тектоническое районирование Антарктики, природа и роль неопротерозойских—раннепалеозойских тектонотермальных процессов, генезис и формационная принадлежность

¹ Современные исследования дают датировки около 3,8 млрд лет [36].



гранитоидов. Четырехчленное деление Антарктиды, по Р. Фэрбриджу [31], модифицировалось до трехчленного (например, [2]) или двухчленного (например, [12]). Зарубежные ученые придерживались более простых схем. Так, Р. Эйди [23] выделял Восточную Антарктиду как Гондванскую провинцию, а Западную Антарктиду — в качестве Андийской провинции.

Павел Стефанович Воронов, один из первых отечественных исследователей и пионер геодинамического моделирования в Антарктиде, выделял три основных геоструктурных элемента [2]: 1) Восточно-антарктическую постпротерозойскую платформу, 2) складчатую зону Западной Антарктиды, 3) передовой прогиб Росса—Уэдделла. На одном из вариантов тектонического районирования П.С. Воронов [3] выделил также протяженную область (ранне)калевонской складчатости, опоясывающей большую часть океанической периферии платформы (рис. 1, б). В дальнейшем П.С. Воронов несколько модифицировал эту схему, включив области раннекалевонской складчатости в состав платформы в качестве участков “частичного проявления” этой складчатости. Было выявлено двухъярусное строение фундамента платформы. К нижнему ярусу были отнесены сложнодислоцированные кристаллические породы преимущественно гранулитовой фации метаморфизма, развитые на большей части вскрытых областей щита. В качестве верхнего яруса, условно относимого к протерозою или к нилю, были выделены (очень редкие. — Е.М.) ассоциации слабометаморфизованных (фация зеленых сланцев) и в различной степени дислоцированных пород преимущественно осадочного происхождения. В качестве осадочного чехла платформы выде-

лены фанерозойские осадочные и эфузивные породы серии Бикон, распространенной в Трансантарктических горах. П.С. Воронов выдвигал представление о раннекалевонском *тектогенезе*, или складчатости с накоплением соответствующих отложений, в противовес точки зрения других отечественных исследователей (М.Г. Равич, Д.С. Соловьев, Л.В. Климов), интерпретировавших имеющиеся изотопные датировки и геологические факты как признаки *активизации* некоторых областей Восточной Антарктиды в связи со сбросообразованием при формировании антарктического горста (Земля Виктории, Трансантарктические горы, Земля Королевы Мод). Положение зон раннекалевонской (байкальской) складчатости, по предположению П.С. Воронова [4], определялось глубинными разломами, которые были впоследствии использованы при расколе и распаде Гондваны.

Лев Владимирович Климов выделил две главные геотектонические провинции (рис. 1, в [12]): 1) Антарктическую “гондванскую” платформу и 2) Антарктический “андийский” складчатый пояс. В площадь, занимаемую Антарктической платформой, включались не только обширные пространства Восточной Антарктиды, но и Трансантарктические горы на всем своем протяжении и значительная часть Западной Антарктиды (Земля Мэри Бэрд и внутренние районы). Этого же мнения, на каком-то этапе придерживались М.Г. Равич [15] и А.П. Капица [11]. В составе Антарктической платформы Л.В. Климов выделял: дорифейские щиты и массивы, в том числе активизированные в раннем палеозое, послепротерозойские плиты, послекалевонские плиты, погруженные или скрытые под материковым льдом нерасчлененные области. Климов показал, что Восточ-

Рис. 1. Схемы тектонического районирования Антарктиды: а — А.И. Шалимова [22]; б — П.С. Воронова [3]; в — Л.В. Климова [12, 13], с упрощениями; г — С.А. Ушакова и В.Е. Хайна [21], с упрощениями; д — М.Г. Равича и Г.Э. Грикурова [18], с упрощениями; е — Г.Э. Грикурова [5]:

а: 1 — стархейская Восточно-Антарктическая платформа; 2 — область активизации платформы; 3 — Западно-Антарктический складчатый пояс; 4 — депрессия моря Росса—моря Уэдделла. Цифры на схеме: 1 — горы Принс-Чарльз; 2 — ледник Ламберта; 3 — шельфовый берег; 4 — ледник Денмэна; 5 — подледные горы Гамбурцева; 6 — залив Люгцов-Хольм; 7 — залив Приюдс; 8 — оазис Бангера; 9 — Роннане, 10 — хр. Шеклтон, 11 — Земля Кемпа. б: 1 — области развития докембрийских кристаллических пород в пределах постпротерозойской платформы; 2 — области развития платформенного чехла в пределах постпротерозойской платформы; 3 — срединные калевонские каледониды; 4 — калевонская складчатая зона; 5 — каледониды, перекрытые платформенным чехлом; 6 — каледониды, затронутые герцинидами; 7 — возможное присутствие реликтов герцинид среди альпийской складчатой зоны; 8 — альпийская складчатая зона; 9 — краевой прогиб альпийской складчатой зоны. в: 1—4 — Антарктическая (гондванская) платформа (1 — области, структурно не расчлененные; 2 — дорифейские щиты и массивы, активизированные в нижнем палеозое, — нижний (рифейско-альпийский) складчатый пояс; 3 — верхний (рифейско-нижнепалеозойский, складчатый) ярус; 4 — послекалевонские плиты); 5 — Антарктический складчатый пояс; 6 — позднекайнозойские внутриматериковые впадины; 7 — протерозойские плиты; 8 — области вулканизма; 9 — мезо-кайнозойские впадины. г: 1 — дорифейская Восточно-Антарктическая платформа (а — область позднебайкальского омоложения); 2 — байкалиды—ранние каледониды; 3 — области молодого вулканизма; 4 — герциниды в антиклинальном поясе Антарктиды; 5 — альпиды Антарктиды; 6 — молодые краевые прогибы Антарктиды; 7 — молодые прогибы Антарктиды; 8 — протерозойская плита; 9 — простиранье региональных структур. д: 1 — дорифейские комплексы платформенного фундамента; 2 — не дифференцированный платформенный чехол; 3 — не дифференцированные осадочные комплексы (а); 4 — дорифейские складчатые комплексы, переработанные позднебайкальской активизацией; 5 — рифейский платформенный чехол; 6 — байкалиды; 7 — среднепалеозойско-раннемезозойский (байкальский) платформенный чехол; 8 — Антарктические (область южной складчатости); 9 — антарктический вулканический пояс. е: 1—4 — Восточно-Антарктический кратон: 1 — крупные кристаллические массивы; 2 — недифференцированный платформенный чехол; 3 — позднемезозойские—кайнозойские осадочные (эпиплатформенные) бассейны; 4 — дорифейская платформа (“плита” Уэдделла); 5 — позднепротерозойско-раннепалеозойская складчатая система; 6 — протерозойско-палеозойская складчатая система; 7 — палеозойско-мезозойская складчатая система (цифры на схеме: 1 — зона южной складчатости, 2 — зона позднемезозойской складчатости, 3 — зона раннемезозойской складчатости с ядрами позднепалеозойской стабилизации; 4 — зона раннепалеозойской (российской) стабилизации); 8 — позднемезозойско-кайнозойские (“эпигенетические”) бассейны (а — фундамент); 9 — рифтовые грабены. Пунктирные линии на д и е — крупнейшие линеаменты и зоны тектонических нарушений

ная Антарктида сложена тремя структурными ярусами: дорифейским, рифейско-нижнепалеозойским и среднепалеозойско-мезозойским. Дорифейский комплекс (соответствующий нижнему ярусу платформы по Г. С. Воронову [2]), мощностью не менее 15–20 км, представлен сложнодислоцированными кристаллическими сланцами, претерпевшими глубокий метаморфизм и ультраметаморфизм в условиях гранулированного амфиболитовой фации. Было отмечено, что к моменту развития этого комплекса приурочены выходы из грузивных чарнокитоидов². Дорифейский комплекс рассматривался в качестве фундамента Антарктической платформы, развитого практически по всему ее протяжению в пределах Восточной Антарктиды. Рифейско-нижнепалеозойский комплекс, мощностью не более 4 км, обнажен в широком поясе вдоль проходящей Трансантарктических гор от Земли Виктории до западной части Земли Королевы Мод. Породы комплекса в пределах Трансантарктических гор находятся в складчатом залегании и образуют "верхнюю часть платформенного фундамента", восточную часть Земли Королевы Мод они залегают только на складчатом дорифейском фундаменте, являясь "нижнюю часть платформенного чехла" [12].

Среднепалеозойско-мезозойский комплекс сложился с биконским осадочным чехлом. Восточная Антарктида была охарактеризована как область "длительного становления платформенного режима, начавшегося в дорифейское время и завершившегося только к началу среднего века". Полученные к тому времени изотопные данные K–Ar методом в диапазоне 450–550 млн лет определились как возраст последнего этапа метаморфизма, в частности реоморфизма на больших площадях прибрежного пояса Восточной Антарктиды.

Вопрос тектонического строения Антарктиды исследовалась также С.А. Ушаков и В.Е. Хайн [21]. В главных структурных элементах ими были выделены (рис. 1, г): 1) дорифейская Восточно-Антарктическая платформа, 2) зоны байкальской складчатости в том числе геосинклиналь Росса, составляющие протяженный пояс от Земли Виктории до восточной части Земли Королевы Мод и ограниченную восточно-Антарктической платформой разломом, 3) складчатая система Западной Антарктиды, вавшая эпоху регионального метаморфизма, длившимся к тому времени данным (1500–1840 ± 24, 47), соотносилась с карельским циклом, в ходе которого формировались цоколя многих древних платформ. Было отмечено, что байкальские геосинклинальные пояса периферии Восточно-Антарктической платформы испытали движения гренвильской тектонической эпохи, но решающую роль сыграли вращение в складчатые системы и байкальско-салайская эпоха. Таким образом,

в работе [21] была задолго предвосхищена концепция гренвильского заложения протерозойского подвижного пояса Антарктиды [29, 52] и полицикличности этого пояса [39], а также существования добайкальского суперматерики, включавшего кроме Восточно-Антарктической платформы другие эпейрократоны Южного полушария (Африка, Австралия, Южная Америка).

Существенный вклад в изучение геологического строения Антарктиды и ее тектонического развития внес Михаил Григорьевич Равич, который выделял Гондванскую антарктическую платформу и включал в ее состав эпикаледонскую платформенную область (геосинклиналь Росса) и Андийский антарктический складчатый пояс (Антарктические горы) [15–17]. Антарктическая платформа им рассматривалась уже не однородной в геоструктурном отношении и не "одновозрастной" на всем своем протяжении. Имевшиеся к тому времени K–Ar изотопные данные формировали четыре группы датировок в интервалах 1500–1600, 1000–1200, 700–800 и 450–500 млн лет. Эта вариация возрастов рассматривалась не как признак разновозрастности формирования отдельных частей фундамента (в отличие, например, от мнения П.С. Воронова), а как следствие неоднократного омоложения абсолютного возраста пород фундамента, отражающего какие-то этапы перестройки уже после консолидации и превращения земной коры в жесткий массив. В качестве причин подобных перестроек предлагались два механизма: 1) активизация кристаллического фундамента, выражавшаяся в гранитизации глубинных зон фундамента, отчего происходило омоложение абсолютного возраста; 2) значительные по амплитуде глыбовые перемещения отдельных блоков фундамента под влиянием дизъюнктивных дислокаций, отчего сохранность радиогенного аргона нарушалась. Дорифейский кристаллический фундамент представлялся состоящим из нескольких щитов, разобщенных не только областями развития платформенного чехла, но и разделяющими эти области (внутриплитными. — Е.М.) складчатыми системами (рис. 1, д). Таким образом, в пределах платформы по структурно-геологическим особенностям выделялись следующие типы областей кристаллического фундамента: 1) стабильные области древней (предположительно раннепротерозойской) кратонизации; 2) мобильные области неоднократных структурных, регионально-метаморфических и ультраметаморфических преобразований коры с широко развитой магматической деятельностью.

В 1978 г. была опубликована тектоническая карта и схема тектонического районирования Антарктиды (рис. 1, е) под редакцией Г.Э. Грикурова [5, 6]. На карте выделены главные элементы: 1) Антарктический кратон, 2) Российская складчатая система Трансантарктических гор, 3) Западно-Антарктическая оро-

геническую систему (андского типа), 4) области первого и (или) пограничного типа (на стыках трех геоструктурных элементов), характеризующуюся конвергенцией тектонических признаков. Для лада поглощения подчеркивалось преобразование архейских кристаллических сланцев. В хейское время большая (восточная) часть края хранила способность к интенсивной дифференциальной подвижности, что привело к возникновению на гетерогенном архейском цоколе разнообразных тектонических форм. Среди них выделялись: 1) участки устойчивых, но медленных поднятий; 2) реки Муромы и реки Муромы (Земля Королевы Елизаветы); 3) инвертированные интактивные прогибы типа авлакогенов — интактивные складчатые системы (южная часть гор Чарльз); 4) районы активных, преимущественно зойско-кайнозойских погружений — внутренние прогибы и впадины, частично залитые осадками. Позднероссийский тектогенез Восточной Антарктиды характеризуется как "активизация", признаками которой являются: 1) первичность земной коры континентального типа; 2) неповторимость особенностей этапов развития земной коры; 3) энсиалическое заложение коры путем гранитизации; 4) резкое заложение и определяющая роль вертикальных сдвиговых движений. Существование стабильных платформенных областей в пределах древних платформ интерпретируется не как результат завершения геосинклинального процесса, а как реликт площади, сохранившейся от разрушения там, где этот процесс вообще не начался. В становлении земной коры [7, 8, 33], а также в развитии подвижных областей — как результат агматической активизации, природа которой, не была предметом специального изучения.

На ход кий ступень 1960-х лет) сказ археологией. Взгляды отечественных исследователей на эволюцию докембрийской Антарктической платформы происходило под воздействием новых изотопно-геохронологических данных. В 1960-х гг. выявлялись все более и более древние (от 100—600 до 1700—2000 и 4000 млн лет) первых, служило подтверждением выдвигавшихся предположений о дорифейском или в возрасте горных пород Антарктиды, а во-вторых, значение более молодых датировок опровергало представления о тотальном архей-

ском возрасте пород Антарктического щита (что было вполне естественно в рамках принятых постулатов). Развернувшаяся полемика 1960-х гг. о роли поздне-протерозойско-раннепалеозойских процессов и одновозрастных пород к концу 1970-х гг. практически иссякла ввиду того, что все соответствующие датировки метаморфических пород категорически относились к "активизации" и "омоложению", а проблема природы этих явлений оставалась без особенного внимания. Несмотря на то что помимо изотопного "омоложения" выделялись и собственно геологические неопротерозойские события, такие как метаморфизм и гранитообразование, их природа и источники тектонической активности не оказались предметом исследования, а тектоническая позиция этих структур определялась отнесением к категории авлакогенов. Еще меньшее значение уделялось мезопротерозойским ассоциациям горных пород и геологическим процессам. Природа и сущность этих образований и явлений осталась вообще вне поля зрения исследователей 1970—1980-х гг., что, вероятно, было обусловлено быстрым получением все более древних датировок.

Современный этап исследований

Начало нового этапа в изучении геологического строения Антарктиды ознаменовано развитием Sm-Nd и U-Pb-изотопных методов исследования и активным вовлечением в конце 1980-х гг. структурно-геологических и петрологических подходов, позволяющих осуществлять геодинамические реконструкции условий становления и развития земной коры. Изотопные данные легли в основу корреляции Восточной Антарктиды с Северной Америкой и развития представлений о продолжении Гренвильского пояса на Земле Королевы Мод [29, 37]. Некоторое время эта идея и ее обсуждение оставалось главным объектом внимания исследователей Антарктиды. Эти же данные легли в основу концепции о развитии подвижного пояса, охватывающего большую часть океанических побережий Антарктического щита — Вегенер-Моусоновский протерозойский подвижный пояс [39] или Циркумантарктический позднемезопротерозойский подвижный пояс (ороген) [55].

Прогресс в области структурно-тектонического районирования Антарктиды был достигнут Е.Н. Каменевым [10]. Одним из важных достижений схемы Е.Н. Каменева является выделение нескольких относительно небольших архейских "глыб" (или протократонов: Нейпирская глыба Земли Эндерби, оазис Вестфоль и др.), которые с южной, материковой, стороны обрамлены протяженным (свыше 4500 км) протерозойским подвижным поясом (рис. 2). Другим важным выводом было утверждение о полициклическом характере развития этого пояса, продолжавшегося с раннего палеопротерозоя вплоть до начала палеозоя (2500—500 млн лет). Его эволюция обусловлена циклическим чередованием периодов мобилизации и кратонизации (стабилизации), которые могли



Рис. 2. Схема структурного районирования обнаженных частей Антарктического щита [10]:

1 — чарнокит-эндербитовые ядра (протократоны); 2 — гранит-зеленокаменные пояса; 3 — чарнокит-гранулитовые пояса (протерозойский подвижный пояс); 4 — гранит-гнейсо-сланцевые пояса; 5 — палеорифтовые зоны или палеоавлакогены; 6 — оси крупнейших фанерозойских рифтовых грабенов

охватывать всю область целиком либо проявляться более или менее локально. Были выделены четыре цикла активности с пиками на рубежах 2400, 1700, 1000 и 550 млн лет [39].

В 1990-х гг. появились данные о поздненеопротерозойском—раннепалеозойском (~570—520 млн лет) возрасте глубокого метаморфизма и пластических деформаций в некоторых районах Антарктического щита: залив Лютцов-Хольм [49], центральная часть Земли Королевы Мод [38, 41], залив Прюдс [56]. На основе этих данных многими исследователями делается вывод о поздненеопротерозойском — раннепалеозойском (панафриканском), а не позднемезопротерозойском (гренвильском или рейнерском) времени формирования континентальной массы Восточной Антарктиды в результате амальгамации нескольких блоков [7, 30, 35, 51]. Эта парадигма предопределила ход дальнейших исследований и развития тектонических представлений вплоть до настоящего времени [26, 32]. Роль палео- и мезопротерозойских событий и процессов при этом по-прежнему остается вне поля зрения исследователей, хотя датировки пород в интервале 2400–1700 или 1500–1300 млн лет также получены в некоторых районах (Земля Уилкса, оазис Бангер, горы Принс-Чарльз).

С развитием U—Pb-методов датирования взгляды исследователей стали обращаться в “молодую” сторону шкалы времени, и критическое значение в формировании кристаллического фундамента Антарктической платформы стало придаваться относительно молодым Сайкальским или панафриканским: 600–500 млн лет событиям. Если раньше любые протерозойские датировки интерпретировались как признаки “омоложения” и “активизации”, то теперь любые до-раннепалеозойские (практически те же самые) датировки интерпретируются как реликты некоего “унаследованного вещества”, а природе и значению этого самого вещества не уделяется достаточного внимания.

Лишь отдельные публикации последних 10–15 лет посвящены специальному изучению веществен-

ного состава горных пород и ассоциаций Восточной Антарктиды в целях геодинамической интерпретации их происхождения [34, 42–46, 48]. Эти исследования показывают, что некоторые мезопротерозойские комплексы метаморфических горных пород (например, в районе оазиса Бангера, в центральной части гор Принс-Чарльз, на некоторых участках гор Сер-Роннане и западной части Земли Королевы Мод) могут представлять собой значительные ювенильные добавки вещества, имеющего мантийное происхождение, к объему континентальной земной коры в условиях конвергентного тектонического режима. Некоторые комплексы сопоставляются с тоналит-трондемит-гранодиоритовой ассоциацией, другие — с известково-щелочными магматическими ассоциациями (формациями). Вместе с тем неопротерозойско-кембрийские комплексы (как метаморфические, так и магматические) несут признаки скорее внутриплитного, анорогенного, чем орогенного происхождения, хотя особенности некоторых гранитоидных и чарнокитовых комплексов могут интерпретироваться как признак коллизионного происхождения [14]. Убедительных примеров пород мантийного происхождения (например, офиолитов) неопротерозойско-кембрийского возраста в пределах Антарктического щита не обнаружено. Единственным исключением могут служить некоторые породные ассоциации в хр. Шеклтон [50], но возраст этих пород определен не вполне надежно и находится в диапазоне 1000–500 млн лет.

Современные данные позволяют наметить важнейшие особенности тектонического строения Антарктиды ([9] и цитированная в этой работе литература) и сделать следующие выводы: 1) не представляется обоснованной гипотеза о строении Восточной Антарктиды как цельного континентального блока раннедокембрийского возраста, испытавшего мощные тектонотермальные активизации в протерозое — раннем палеозое без существенного новообразования земной коры; 2) основная масса вещества была отделена от мантии в архее и палеопротерозое, причем архейские протолиты распространены практически исключительно в блоках архейской стабилизации или в областях палеопротерозойского тектогенеза; 3) по возрасту формирования или активизации могут быть выделены террейны следующих диапазонов: 2500–2450, 2150–1700, 1400–950, 600–500 млн лет назад; 4) на рубеже мезо- и неопротерозоя большая часть территории Восточной Антарктиды испытала пластические деформации и метаморфизм амфиболитовой — гранулитовой фации [25, 53], при этом в различных районах пики тектонотермальной активности не были вполне синхронны, отражая полифазный характер тектонизма, концентрировавшегося на интервалах 1200–1150, 1150–1050 и 1100–950 млн лет; 5) в пределах мезопротерозойских сегментов протерозойского подвижного пояса имеют место значительные ювенильные добавки (посредством аккреции в конвергентных геодинамических условиях), что позволяет интерпретировать цикличность в пределах этого

подвижного пояса в смысле циклов Бертрана (по В.Е. Хайну); 6) тектоническая деятельность неопротерозойско-раннепалеозойского этапа, в результате которой было завершено формирование суперконтинента Гондвана, также не сопровождалась значительными ювенильными добавками к массе континентальной коры и имела коллизионно-активизационный характер (возможно также, что многие особенности тектогенеза этого рубежа, проявленные в Восточной Антарктиде, обусловлены активным термальным воздействием поднимающихся мантийных масс и могут быть описаны в терминах плюм-тектоники); 7) территория Трансантарктических гор и Западной Антарктиды представляет собой фанерозойскую складчатую систему и включает несколько разновозрастных подвижных поясов и зон, но первичное вещество коры этих зон было образовано преимущественно в протерозое.

На современной тектонической карте Антарктиды возможно также выделение некоторых типов структурно- вещественных комплексов или террей-

нов: блоки архейской стабилизации, палеопротерозойские и мезопротерозойские орогенические пояса, отложения пассивной окраины, интракратонных бассейнов и бассейнов форланда, рифтогенные породы, образования океанической дуги, континентальной дуги, породы анортозит-мангерит-чарнокитовой ассоциации, интракратонные магматические породы, а также глубоко метаморфизованные породы неопределенной геодинамической принадлежности и другие типы геологических комплексов. Развитие этих подходов к пониманию геологического строения Антарктиды и тектоническому картографированию позволит выработать оптимальную схему, которая позволит отразить как геохронологические данные, так и историко-геологическое осмысление характера и особенностей становления и эволюции земной коры Антарктиды.

Работа выполнена при финансовой поддержке Федеральной целевой программы "Мировой океан", подпрограмма "Антарктика".

ЛИТЕРАТУРА

1. Гроинов П.С. Современные проблемы изучения структуры Антарктики // Информ. бюл. САЭ. 1958. № 2. С. 17–22.
2. Гроинов П.С. О структуре Антарктики // Тр. НИИГА. 1960. Т. 1. С. 5–24.
3. Воронов П.С. Абсолютный возраст пород и структура Антарктиды // Информ. бюлл. САЭ. 1961. № 31. С. 15–21.
4. Воронов П.С. Антарктида и проблема распада Гондваны // Информ. бюлл. САЭ. 1967. № 65. С. 44–57.
5. Грикуров Г.Э. (ред.) Тектоническая карта Антарктиды масштаба 1:5000000. Л., 1978.
6. Грикуров Г.Э. (ред.) Объяснительная записка к тектонической карте Антарктиды масштаба 1:5000000. Л., 1980.
7. Грикуров Г.Э., Каменев Е.Н., Равич М.Г. Тектоническое поле и геологическая эволюция Антарктиды // Информ. бюлл. САЭ. 1978. № 97. С. 15–35.
8. Грикуров Г.Э., Каменев Е.Н., Равич М.Г. Эволюция мнений советских ученых о структуре Антарктики // Польско-советского симпозиума по истории исследований полярных областей. Варшава, 1982. С. 381–395.
9. Грикуров Г.Э., Михальский Е.В. Некоторые черты тектонического строения и эволюции Восточной Антарктиды в свете представлений о суперконтинентах // Российский Земле. 2002. Т. 4. № 4. С. 247–257.
10. Грикуров Г.Э., Каменев Е.Н. Структурно-минерагеническое районирование Антарктиды // Геология и минеральные ресурсы. М., 1990. С. 15–40.
11. Грикуров Г.Э., Каменев Е.Н. Подледный рельеф Антарктиды. М., 1968.
12. Грикуров Г.Э. О геологической структуре Антарктиды // Информ. бюлл. САЭ. 1964. № 47. С. 5–18.
13. Грикуров Г.Э. Основные черты геологической структуры Антарктиды // Информ. бюлл. САЭ. 1967. № 65. С. 30–43.
14. Грикуров Г.Э., Михальский Е.В., Шератон Дж., Владыкин Н.В. Чарнокиты Антарктиды и их геологическая типизация // Докл. РАН. 2006. Т. 408, № 4. С. 523–527.
15. Грикуров М.Г. Геологическое строение Антарктиды // Информ. бюлл. САЭ. 1966. № 57. С. 28–42.
16. Равич М.Г. Кристаллический фундамент Антарктической платформы // Антарктика. М., 1966.
17. Равич М.Г. Геолого-геофизические исследования в Антарктиде // Информ. бюлл. САЭ. 1977. № 95. С. 31–51.
18. Равич М.Г., Грикуров Г.Э. Основные черты тектоники Антарктиды // Сов. геол. 1970. № 1. С. 12–27.
19. Равич М.Г., Грикуров Г.Э. (ред.) Геологическая карта Антарктиды масштаба 1:5000000. Л., 1976.
20. Соботович Э.В., Каменев Е.Н., Комаристый А.А., Рудник В.А. Древнейшие породы Антарктиды (Земля Эндерби) // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1974. № 11. С. 30–50.
21. Ушаков С.А., Хайн В.Е. Строение Антарктиды по геолого-геофизическим данным // Вестн. Моск. ун-та. Сер. геол. 1965. № 1. С. 3–27.
22. Шалимов А.И. История геологического изучения Антарктики // Тр. НИИГА. 1957. Т. 95. С. 5–79.
23. Adie R.J. The geology of Antarctica // Antarctic Res. Amer. Geophys. Union. Washington, 1962. P. 26–39.
24. Angino E.E. Antarctic orogenic belts as delineated by absolute age dates // SCAR Bull. 1963. N 15.
25. Black L.P., Harley S.L., Sun S.-S., McCulloch M.T. The Rayner Complex of East Antarctica: complex isotopic systematics within a Proterozoic mobile belt // J. Metamorphic Geol. 1987. Vol. 5. P. 1–26.
26. Boger S.D., Miller J.McL. Terminal suturing of Gondwana and the onset of the Ross-Delamerian orogeny: the cause and effect of an Early Cambrian reconfiguration of plate motions // Earth and Planetary Sci. Lett. 2004. Vol. 219. P. 35–48.
27. Boger S.D., Wilson C.J.L., Fanning C.M. Early Paleozoic tectonism within the East Antarctic craton: the final suture between East and West Gondwana? // Geology. 2001. Vol. 29. P. 463–466.
28. Craddock C. Geologic map of Antarctica // Geologic maps of Antarctica, Antarctic map folio series, folio 12, plate XX. 1970.
29. Dalziel I.W.D. Pacific margins of Laurentia and East Antarctica—Australia as a conjugate rift pair: evidence and implications for an Eocambrian supercontinent // Geology. 1991. Vol. 19. P. 598–601.

30. Dalziel I.W.D. Neoproterozoic-Paleozoic geography and tectonics: review, hypothesis, environmental speculation // GSA Bull. 1997. Vol. 109. P. 16–42.
31. Fairbridge R.W. The geology of the Antarctic // The Antarctic today. Wellington, 1952. P. 56–101.
32. Fitzsimons I.C.W. Proterozoic basement provinces of Southern and Southwestern Australia, and their correlation with Antarctica // Proterozoic East Gondwana: supercontinent assembly and breakup. Geol. Soc. of London Spec. Publ. 2003. N 206. P. 93–130.
33. Gliksoff G.E. Structure of Antarctica and outline of its evolution / Antarctic geosciences. Madison, 1982. P. 791–804.
34. Glennie P.B., Moyes A.B., Grantham G.H., Krynauw J.R. East Antarctic crustal evolution: geological constraints and modelling in Western Dronning Maud Land // Precambrian Res. 1995. Vol. 71. P. 231–250.
35. Gliksoff A., Hanson R., Wilson T. Were aspects of Pan-African deformation linked to Iapetus opening? // Geology. 1996. Vol. 24. P. 1063–1066.
36. Hickey S.L., Black L.P. A revised Archaean chronology for the Nansen Complex, Enderby Land, from SHRIMP ion-microprobe studies // Antarctic Sci. 1987. Vol. 9. P. 74–91.
37. Holland P.F. Did the breakout of Laurentia turn Gondwanaland inside-out? // Science. 1991. Vol. 252. P. 1409–1412.
38. Jacobs J., Fanning C.M., Henjes-Kunst F. et al. Continuation of the Mozambique Belt into East Antarctica: Grenville-age metamorphism and polyphase Pan-African high-grade events in central Dronning Maud Land // J. of Geology. 1998. Vol. 106. P. 385–400.
39. Kamenetsky E.N. Structure and evolution of the Antarctic shield in Paleoproterozoic // Gondwana eight: assembly, evolution and dispersal. Balkema, Rotterdam, 1993. P. 141–151.
40. Klimov L.V., Ravich M.G., Soloviev D.S. Geology of the Antarctic Platform // Antarctic Geology. Amsterdam, 1964. P. 681–696.
41. Mikhalsky E.V., Beliatsky B.V., Savva E.V. et al. Reconnaissance geochronologic data on polymetamorphic and igneous rocks of the Humboldt Mountains, central Queen Maud Land, East Antarctica // The Antarctic region: geological evolution and processes. Minsk, 1997. P. 45–53.
42. Mikhalsky E.V., Laiba A.A., Beliatsky B.V., Stüwe K. Geological structure of Mount Willing (Prince Charles Mountains, East Antarctica), and some implications for metamorphic rock age and origin // Antarctic Sci. 1999. Vol. 11. P. 338–352.
43. Mikhalsky E.V., Sheraton J.W., Laiba A.A., Beliatsky B.V. Geochemistry and origin of Mesoproterozoic metavolcanic rocks from Fisher Massif // Antarctic Sci. 1996. Vol. 8. P. 85–104.
44. Mikhalsky E.V., Sheraton J.W., Laiba A.A. et al. Geology of the Prince Charles Mountains, Antarctica // AGSO—Geoscience Australia Bull. 2001. N 247. 210 p.
45. Munksgaard N.C., Thost D.E., Hensen B.J. Geochemistry of Proterozoic granulites from northern Prince Charles Mountains, East Antarctica // Antarctic Sci. 1992. Vol. 4. P. 59–69.
46. Osanai Y., Shiraishi K., Takanashi Y. et al. Geochemical Characteristics of Metamorphic Rocks from the Central Sor Rondane Mountains, East Antarctica // Recent Progress in Antarctic Earth Science. Tokyo, 1992. P. 17–28.
47. Ravich M.G., Krylov A.J. Absolute ages of rocks from East Antarctica // SCAR Bull. 1963. N 15.
48. Sheraton J.W., Black L.P., Tindle A.G. Petrogenesis of plutonic rocks in a Proterozoic granulite-facies terrane — the Bunger Hills, East Antarctica // Chemical Geol. 1992. Vol. 97. P. 163–198.
49. Shiraishi K., Hiroi Y., Ellis D.J. et al. The first report of a Cambrian orogenic belt in East Antarctica — an ion microprobe study of the Lutze-Holm Complex // Recent progress in Antarctic earth science. Tokyo, 1992. P. 67–73.
50. Talarico F., Kleinschmidt G., Henjes-Kunst F. First report of an ophiolitic complex in the Northern Shackleton Range // Terra Antartica. 1999. Vol. 6. P. 293–315.
51. Tessensohn F. Shackleton Range, Ross orogen and SWEAT hypothesis // The Antarctic region: geological evolution and processes. Siena, 1997. P. 5–12.
52. Tingey R.J. The geologic evolution of the Prince Charles Mountains—an Antarctic Archean cratonic block // Antarctic geoscience. Madison, The University of Wisconsin Press, 1982. P. 455–464.
53. Tingey R.J. The regional geology of Archaean and Proterozoic rocks in Antarctica // The geology of Antarctica. Oxford, 1991. P. 1–58.
54. Voronov P.S. Tectonics and neotectonics of Antarctica // Antarctic Geology. Amsterdam, 1964. P. 692–700.
55. Yoshida M. Tectono-thermal history and tectonics of Lutze-Holm Bay area, East Antarctica: a reinterpretation // J. of Geol. Soc. of Sri Lanka. 1994. Vol. 5. P. 81–93.
56. Zhao Y., Liu X., Song B. et al. Constraints on the stratigraphic age of metasedimentary rocks from the Larsemann Hills, East Antarctica: possible implications for Neoproterozoic tectonics // Precambrian Res. 1995. Vol. 75. P. 175–188.

ANTARCTIC TECTONICS: EVOLVING IDEAS AND MODELS IN WORKS BY RUSSIAN RESEARCHERS

E.V. Mikhalsky

This article provides an overview of the most important tectonic schemes proposed during the 50 years of Russian geological research in Antarctica. The main tectonic ideas expressed by P.S. Voronov, L.V. Klimov, M.G. Ravich and other investigators are summarized and critically discussed. It is shown how the development of isotopic approaches and methods of age dating influenced and defined the evolution of current tectonic concepts. The article outlines the principal geological features of Antarctica and the most striking results of modern isotopic dating studies, which are crucially important for our understanding of the tectonic evolution of Antarctica.