

- cellence: The Acquisition of Expert Performance in the Arts and Sciences, Sports and Games. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates, 1996.
3. *Simon H.A.* Reason in Human Affairs. Stanford: Stanford Univ. Press, 1983.
 4. *Ericsson K.A., Lehmann A.C.* Expert and Exceptional Performance: Evidence of Maximal Adaptation to Task Constraints // Annual Review of Psychology. 1996. V. 47. P. 273–305.
 5. *Ларичев О.И., Мечитов А.И., Мошкович Е.М., Фуремс Е.М.* Выявление экспертных знаний. М.: Наука, 1989.
 6. *Ларичев О.И.* Структура экспертных знаний в задачах классификации // Доклады Академии наук. 1994. Т. 336. № 6. С. 750–752.
 7. *Ling C., Marinov M. A.* Symbolic Model of Nonconscious Acquisition of Information // Cognitive Science. 1994. V. 18. P. 595–621.
 8. *Кузнецова В.П., Брук Э.И.* Тромбоземболия легочной артерии. М.: Российская государственная медицинская академия постдипломного образования, 1997.



Больше века исследуют Антарктиду ученые всего мира. На этом закованном льдом материке могут быть найдены ответы на многие вопросы, связанные с историей развития нашей планеты. О результатах, полученных в совместных работах ученых Германии и России, рассказывают авторы публикуемой ниже статьи.

ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ЗАПАДНОЙ АНТАРКТИКЕ

Э. М. Галимов, Г. Б. Удинцев, Г. В. Шенке, Т. Шёне

Всего полтора столетия назад Антарктида перестала быть “Неведомой Южной Землей” – Terra Australis Incognita. Отгородившись поясом штормовых ураганов ветров, сплоченными ледяными полями и скоплениями айсбергов, она не допускала к себе человека до тех пор, пока не пробилась к ней отважные русские моряки. В 1819 г. они открыли систему островов, а затем, в 1820 г. достигли края континентального ледового щита в районе, где ныне работает Российская антарктическая станция “Новолазаревская”. Но до сих пор эта область Земли полна неразгаданных тайн и влечет к себе исследователей разных стран, потому что здесь могут быть найдены ответы на многие вопросы о процессах развития нашей планеты, о ее прошлом и будущем.

Особое место среди проблем, решаемых в Антарктике, занимают геологические. Структурные системы окраин ледового континента и прилегающих морей – это настоящая природная лаборатория, где исследователи встречают сочетание раз-

личных процессов развития литосферы, а осадочные толщи дна океана содержат летопись истории материка, некогда покрытого тропическими лесами, а теперь скованного ледовым щитом [1].

Проблемы геодинамики – движение масс вещества земной мантии и литосферы, корово-мантийные процессы, преобразующие лик Земли, занимают видное место в геологии. В последние три десятилетия развилась и приобрела популярность концепция глобальной тектоники. Она основана на представлениях о широкомасштабных горизонтальных движениях жестких литосферных плит. Результаты морских геолого-геофизических исследований поставляют все новые факты, расширяющие и усложняющие первоначальные представления об ограниченном числе жестких плит и их размерах, преимущественно линейном характере спрединга и распространении рифтогенных структур на всем пространстве океанических областей. Это стимулирует поиски новых вариантов концепции тектоники литосферных плит, сочетающих накопленные данные об океаническом рифтогенезе со сведениями о гетерогенности дна океанов и неравномерности развития важнейших тектонических систем в их пределах. В связи с этим особое значение приобретает применение новейших методов спутниковой геодезии и радиоинтерферометрии со сверхдлинной базой (VLBI) для изучения реальной геокинематики – определения с высокой точностью векто-

ГАЛИМОВ Эрик Михайлович – академик, директор Института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, УДИНЦЕВ Глеб Борисович – член-корреспондент РАН, заведующий лабораторией того же института. ШЕНКЕ Ганс Вернер – доктор наук, старший научный сотрудник Института полярных и морских исследований им. А. Вегенера (Германия). ШЁНЕ Тило – доктор наук, научный сотрудник того же института.

ров движений крупных и средних блоков литосферы [2–4]. Исследования подтвердили горизонтальные смещения литосферных плит. Хотя сиюминутный характер таких движений в масштабах геологической истории понятен, результаты заслуживают серьезного внимания, поскольку речь идет о возможности инструментального изучения движений литосферных плит и крупных блоков, которые до сих пор предполагались лишь теоретически. Очень эффективным оказалось применение новых методов для изучения движений литосферных блоков в ограниченных регионах [5, 6]. В сочетании с изучением тектонических формаций на суше и на дне океана такие геокинематические исследования в какой-то мере объясняют динамику масс земного вещества.

В 1994 г. в рамках Научного комитета по исследованиям Антарктики (SCAR) возникла программа изучения геокинематики Антарктики методом глобального спутникового позиционирования (GPS) на 1995–1998 гг. [7]. В осуществлении программы приняли участие исследователи многих стран, но особую инициативу проявили германские ученые Института полярных и морских исследований им. Альфреда Вегенера (г. Бремерхафен), наметившие создать наиболее густую сеть опорных геодезических станций в Западной Антарктике и совместить геокинематические наблюдения с морскими геолого-геофизическими исследованиями в рамках рабочей программы “Геодезическая инфраструктура Антарктики”.

Для осуществления этих планов германские ученые предложили организовать в 1994–1995 гг. российско-германскую антарктическую экспедицию в соответствии с соглашением о совместных работах с Институтом геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН. В рамках принятой программы на научно-исследовательском судне “Академик Борис Петров” состоялись две экспедиции: с декабря 1994 г. по апрель 1995 г. и с декабря 1997 г. по апрель 1998 г. Задачей первой экспедиции было создание опорной сети геодезических пунктов для геокинематических исследований и выполнение полигональных геолого-геофизических работ на тектонических структурах, имеющих ключевое значение для геодинамической интерпретации геокинематических данных. Обе части программы рассматривались как составляющие единого комплекса, важного для развития фундаментальных знаний о Западной Антарктике и о геодинамике Мирового океана.

При подготовке к экспедиции судно “Академик Борис Петров” было оборудовано вертолетной платформой и всем необходимым для обслуживания работы вертолета. Он использовался для транспортировки ученых и оборудования на берега, недоступные для плавсредств. Программа морских работ предусматривала многолучевое эхолотирование для изучения рельефа дна, сейсмическое профилирование в целях исследования

строения осадочного чехла и структуры акустического фундамента, гравиметрическую и магнитометрическую съемку, сбор образцов донных осадков и коренных пород дна, сбор геологических образцов при высадках на берега островов и континента Антарктиды, геоморфологические наблюдения и фотосъемку с вертолета.

Судно вышло в плавание 4 декабря 1994 г. Переход с попутными геофизическими работами от Бремерхафена (где были погружены геодезическое оборудование и вертолет) до чилийского порта Пунта-Аренас занял месяц. 8 января 1995 г. началось плавание в антарктических водах (рис. 1). На первом этапе работ на берегах Антарктиды и близлежащих островов были установлены приборы спутниковой геодезии и организовано жилье – палаточные лагеря на необитаемых станциях и подселение геодезистов к обитателям постоянно действующих станций Великобритании, США, Чили и Аргентины. Таким образом были основаны геодезические пункты у английской станции “Сигни” на о. Сигни, на необитаемом о. Рожнова (Гибс), у аргентинской станции “Хьюбани” на о. Ватерлоо (Кинг Джердж), у чилийских станций “Артуго Пратт” на о. Березина (Гринвич) и “О’Хиггинс” на Антарктическом п-ове, на необитаемом мысе Ноттер на Антарктическом п-ове, близ покинутой чилийской антарктической станции “Пунта Спринг” в бухте Бриальмон на Антарктическом п-ове, близ станции США “Палмер” на о. Анверс, у английской станции “Ротера” на о. Аделанды, возле аргентинской станции “Сан Мартин” близ фьорда Ненни на Антарктическом п-ове и на английской станции “Фосил Блафф” на восточном берегу о. Александра I¹.

На геодезических пунктах в шпурах, забуренных в скальную породу, монтировались четыре репера – основной и три вспомогательных. На реперах устанавливались антенны аппаратуры спутниковой геодезии. Определения места и геокинематических смещений – как горизонтальных, так и вертикальных – выполнялись с разрешающей способностью метода ± 5 мм [8]. На всех станциях проводились рекогносцировочные геологические исследования с отбором образцов. На нескольких станциях была установлена аппаратура для слежения за уровнем водной поверхности океана.

Расстановка геодезических станций заняла две недели. В период синхронных наблюдений, про-

¹ Большинство антарктических островов, упоминаемых здесь, было открыто в 1819–1820 гг. русской экспедицией Беллинсгаузена и Лазарева. Открытым и нанесенным ими на карту островам участники экспедиции давали названия в память о местах сражений с армией Наполеона и по именам русских моряков. В последующие годы инициатива работ в Антарктике перешла к английским, американским и норвежским охотникам за китами и тюленями. Они давали тем же островам свои названия. В результате этого английские и американские картографы заменили на своих картах большинство русских географических названий английскими. Однако на русских картах эти названия сохраняются, а более поздние английские даются при них в скобках.

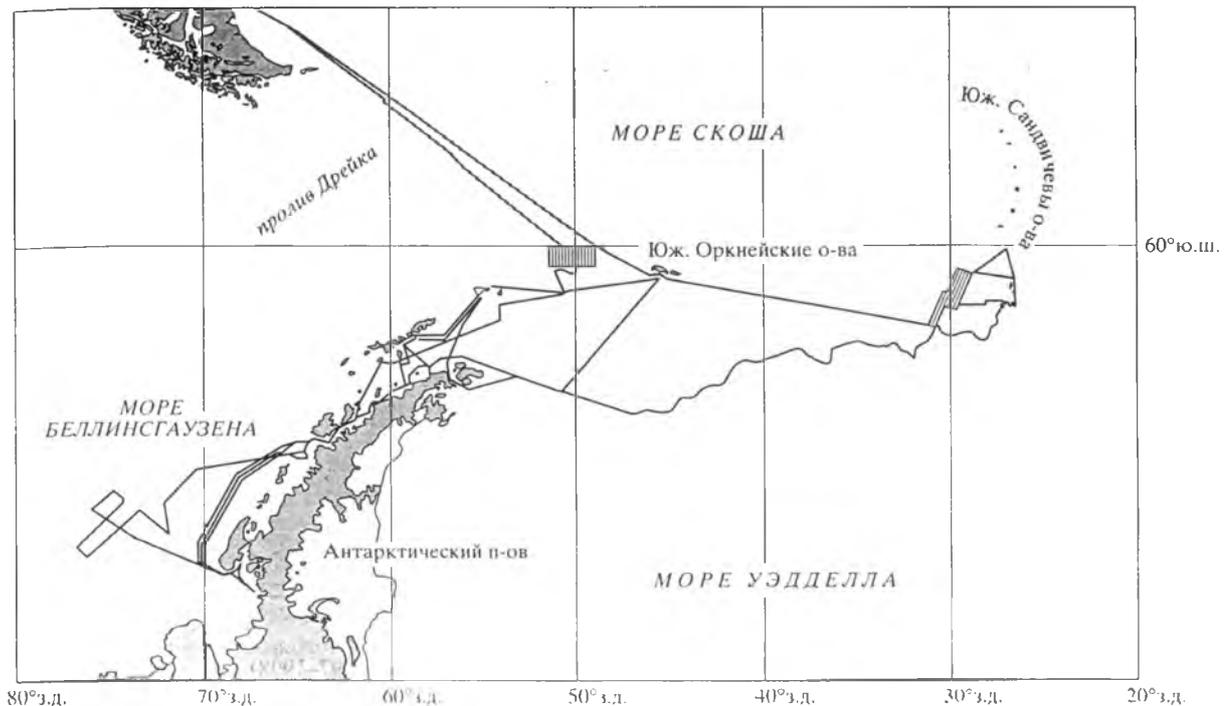


Рис. 1. Маршрут рейса НИС "Академик Борис Петров" (1994–1995)

должавшихся на них около месяца, с борта судна шли морские геофизические исследования в рифтовой зоне пролива Брансфилд и на континентальной окраине Антарктиды в восточной части моря Беллинсгаузена. Виды этих работ в первом рейсе "Петрова" были ограничены по техническим причинам и из-за недостатка средств и времени на подготовку экспедиции. Успешно выполнялось многолучевое эхолотирование, но сейсмическое профилирование проводилось лишь в рамках экспериментальных работ. Однако российская группа ученых осуществляла геологические сборы на всех береговых пунктах, а геоморфологические наблюдения с вертолета шли не только в специальных исследовательских полетах, но и во время транспортных операций.

После эвакуации геодезистов с оборудованием, занявшей около 10 дней, проводились детальные морские геофизические исследования в море Уэдделла на полигонах в районе западного внедрения рифта Американо-Антарктического рифтогенального хребта и на продолжении этой рифтовой системы на хребте Южной Скоша между Южно-Оркнейскими и Южно-Шетландскими островами [9,10]. Первая российско-германская антарктическая экспедиция завершилась 7 апреля 1995 г. в городе Бремерхафен. В течение 1995–1997 гг. обрабатывались собранные материалы, подготавливалась аппаратура для развернутого комплекса морских геолого-геофизических исследований в следующей экспедиции. Была создана и новая программа исследований. Она предусматривала как

расширение области уже проводившихся работ, так и выполнение более полного комплекса мероприятий. Для дальнейшего изучения, исходя из существующих тектонических схем, были намечены конкретные объекты, представлявшие ключевыми для понимания геодинамики региона.

Вторая российско-германская антарктическая экспедиция стартовала из Бремерхафена. Судно вышло в плавание 7 декабря 1997 г. и направилось в аргентинский порт Ушуая, ведя попутные геофизические работы. 8 января началось плавание в антарктических водах (рис. 2).

Судно направилось в район архипелага Южно-Оркнейских островов с тем, чтобы высадить на острове Сигни первую геодезическую группу. Однако возникли обстоятельства, нарушившие наши планы. Из-за тяжелой ледовой обстановки приблизительно в 10 милях от острова Сигни застряло во льдах английское судно "Брансфилд". Оно уже почти месяц находилось в ледовом плену. "Брансфилд" должен был доставить на о. Сигни персонал английской антарктической станции со всем оборудованием, продовольствием и т.п. На английском судне была вертолетная площадка, но не было вертолета. Наш долг был выручить коллег. Поэтому несколько дней вертолет судна "Академик Борис Петров" перевозил людей и грузы с "Брансфилда" на о. Сигни. Это время, однако, не было потеряно. Э.М. Галимов переправился на о. Сигни и в течение двух дней собрал коллекцию антарктических растений для изотопного анали-

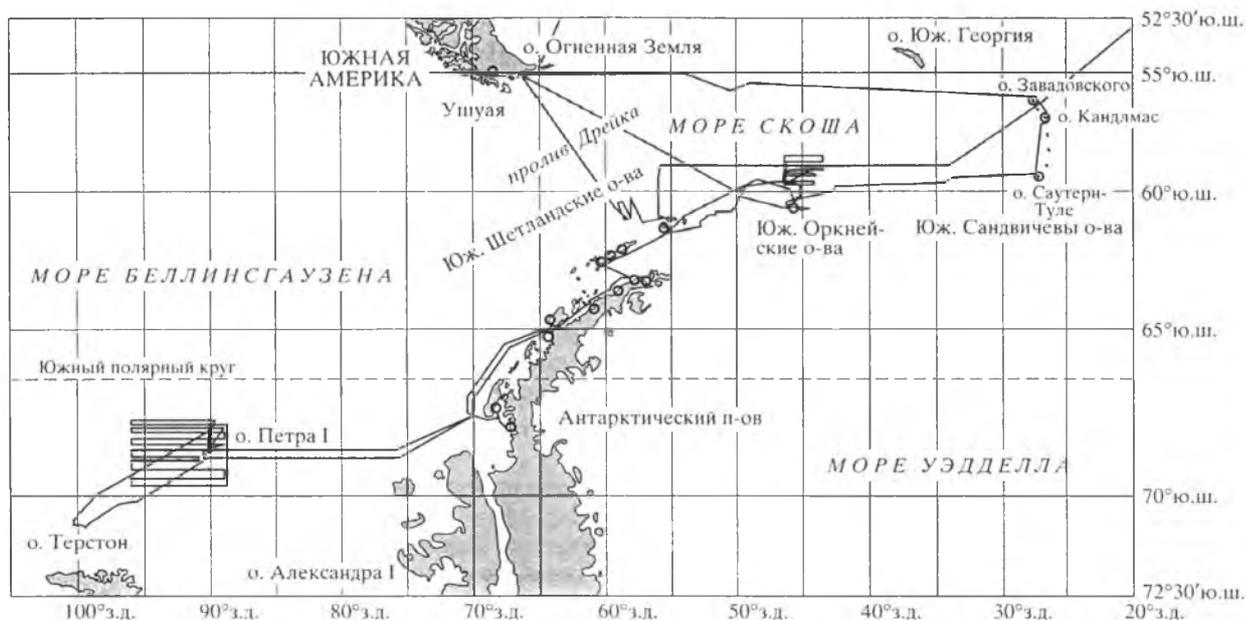


Рис. 2. Маршрут рейса НИС "Академик Борис Петров" (1997–1998)

за. Надо заметить, что Сигни, небольшой остров, приблизительно 5×3 км, является уникальным в ботаническом отношении. Особый микроклимат делает это место относительно теплым. Среднемесячная температура в июле (самом холодном месяце) не опускается ниже -17°C . Около двух третей площади острова в летние месяцы освобождается от снега. Поэтому о. Сигни отличается самой богатой растительностью в Антарктическом регионе, хотя она и представлена главным образом мхами и лишайниками. Несколько десятков образцов мхов и лишайников были собраны на о. Сигни, а затем на островах Рожнова (Гиббс), Березина (Гринвич) и Эйтно из группы Южных Шетландских островов.

Анализ изотопного состава углерода этих растений, выполненный в Институте геохимии и аналитической химии РАН, показал интересные особенности. Один и тот же вид лишайника и мха, взятый из разных мест, в том числе с разных островов, имел весьма однородный изотопный состав. При этом разные виды отличались друг от друга. Например, лишайник *Usnia antarctica* (7 образцов из разных мест) имел ^{13}C от -22.44 до -21.29‰ , мох *Dicranocladus* sp. (8 образцов) – от -24.86 до -23.49‰ , мох *Polytrichum* – от -25.86 до -25.21‰ и т.п. Обычно в населенных районах Земли и местах, богатых флорой, видовые изотопные различия маскируются вариациями изотопного состава углерода исходной для фотосинтеза CO_2 в окружающей среде. В условиях Антарктики влияние местных факторов на изотопный состав CO_2 сведено к минимуму. Поэтому четко выявляются вариации ^{13}C , обусловленные индивидуальной био-

химией и физиологией растений. Фоном при этом является не измененный местными влияниями изотопный состав CO_2 , отражающий глобальное состояние углеродного цикла.

Частично повторяя маршрут первой экспедиции, судно проследовало из района Южно-Оркнейских островов вдоль Южно-Шетландских и Антарктического полуострова на юго-запад. Аппаратура спутниковой геодезии и наблюдатели второй экспедиции были распределены на всех реперах, основанных в первой экспедиции, обеспечивая возможность геокинематического мониторинга за минувшее время. В дополнение к прежним были установлены реперы и аппаратура недалеко от болгарской станции "Климент Охридский" на о. Смоленск (Ливингстон), близ украинской станции "Академик Вернадский" на Аргентинских островах (район Земли Грейама) и на о. Петра I в море Беллинсгаузена. К сожалению, нам не удалось установить репер и аппаратуру спутниковой геодезии на о. Терстон, лежащем в море Беллинсгаузена близ Земли Элсуорта. Сплоченные льды не позволили подойти к берегам Антарктиды на расстояние, безопасное для полетов вертолета.

Следует заметить, что проявившаяся в 1997–1998 гг. значительная разбалансированность теплового режима южной части Мирового океана (эффект Эль Ниньо) сказалась на необычно тяжелых ледовых условиях в Антарктике. Так, сильно продвинулся на север край сплоченных ледовых полей и скоплений айсбергов, ужесточились погодные условия, количество штормов, туманов и снегопадов сильно возросло.



Рис. 3. Установка памятного знака на о. Завадовского

В период синхронных наблюдений на береговых станциях, продолжавшихся с 22 января по 7 февраля, с судна была проведена детальная полигонная съемка в море Беллинсгаузена в районе между о. Петра I и подводной окраиной Антарктиды. На этот раз комплекс геолого-геофизических работ нашей экспедиции был более полным. Многолучевое эхолотирование сопровождалось гравиметрической съемкой и сейсмическим профилированием, сбор геологических образцов на берегах дополнялся пробами донных осадков и коренных пород на обнажениях фундамента дна.

Последовавшая затем эвакуация наблюдателей и аппаратуры касалась не только станций, установленных с борта нашего судна, но также двух станций германской экспедиции на судне "Полярштерн" с островов Южный Туле и Кандлемас в Южно-Сандвичевой островной дуге. Эта экспедиция работала параллельно нашей, разбивая опорные геодезические пункты на островах и побережьях Антарктиды, проводя детальную геофизическую съемку в районе Южно-Шетландского желоба, сопряженного с дугой Южно-Шетландских островов, и в районе Южно-Сандвичевой островной дуги. Поломка германского вертолета помешала эвакуировать наблюдателей и аппаратуру с этих островов, что было сделано нами.

На переходах между станциями велись попутные, а по возможности и детализированные геолого-геофизические исследования. В районе Южно-Сандвичевых островов мы выполнили еще одну, не совсем обычную миссию. В рейсе приняла участие француженка – историк маркиза Мадлен де Шатене дю Траверсе, правнучатая племянница маркиза Ивана Ивановича (Жана Баптиста) Траверсе, эмигрировавшего из Франции после рево-

люции 1791 г. и долгие годы служившего в русском военном флоте в периоды царствования Екатерины II, Павла I, Александра I и Николая I. Он был адмиралом русского флота, а во времена царствования Александра I занимал должность военно-морского министра России. И.И. Траверсе организовал несколько морских исследовательских экспедиций, в том числе экспедицию Беллинсгаузена и Лазарева, доставившую Российскому флоту славу первооткрытия в 1820 г. Антарктиды [11]. В память об этом Мадлен де Шатене предложила установить мемориальный знак на одном из приантарктических островов, открытых экспедицией Беллинсгаузена и Лазарева. Дирекция Института геохимии и аналитической химии пригласила мадам де Шатене участвовать в нашей экспедиции и предложила помощь в открытии такого памятника.

Выполнив эвакуацию наблюдателей и аппаратуры с островов Южный Туле и Кандлемас, судно "Академик Борис Петров" подошло к о. Завадовского в архипелаге Траверсе в северной части Южно-Сандвичевой островной дуги. Несмотря на штормовую погоду, на берег высадились большая группа участников экспедиции с изготовленным силами судового экипажа памятным знаком. На нем была укреплена привезенная Мадлен де Шатене бронзовая доска, освященная в Париже представителем Московской патриархии митрополитом Гурием. По случаю открытия памятного знака состоялся краткий митинг, на время которого над знаком был поднят андреевский флаг Российского флота (рис. 3). Хотя о. Завадовского необитаем, если не считать многих тысяч пингвинов, на митинге кроме участников нашей экспедиции присутствовали и вели съемку операторы

компании Би-Би-Си. Остров принадлежит Великобритании, и ее правительство дало Мадлен де Шатене разрешение на установку памятного знака. По приглашению Российской академии наук Мадлен де Шатене прибыла в Москву, сделала на заседании Президиума РАН 23 июня 1998 г. сообщение о деятельности адмирала Траверсе и была награждена памятной медалью Академии наук.

Совершив переход от о. Завадовского, “Академик Борис Петров” вернулся 25 февраля 1998 г. в порт Ушуая, и через два дня его борт покинули германские участники экспедиции и Мадлен де Шатене. Судно с русскими учеными вернулось в антарктические воды для проведения детальных полигонных геолого-геофизических исследований в районе Южно-Шетландского желоба (эти работы дополняли исследования специалистов с “Полярштерна”) и подводной возвышенности Пирри, лежащей в море Скоша к северу от Южно-Оркнейских островов. Отсюда 10 марта 1998 г. судно направилось в обратный путь, ведя попутные геофизические исследования. Оно вернулось в Бремерхафен 15 апреля. После выгрузки вертолета и научного оборудования германской стороны и совместного научного симпозиума по результатам работ в Институте им. Альфреда Вегенера вторая российско-германская антарктическая экспедиция была закончена 20 апреля 1998 г.

Предварительные результаты геокинематического мониторинга свидетельствуют о несомненном раздвижении плит Антарктиды и Южной Америки со скоростью порядка десятков миллиметров в год. Однако о точных значениях векторов горизонтальных и вертикальных смещений говорить пока еще рано, так как анализ собранных данных требует выполнения очень большого объема математической обработки.

Материалы морских геолого-геофизических исследований обрабатываются с применением компьютеров значительно быстрее, и результаты их более осязаемы. Так, в районе к югу от Южно-Сандвичевой островной дуги многолучевая эхо-метрическая съемка позволила выявить внедрение рифта Америко-Антарктического рифтогенального хребта в западном направлении, в пределы мозаики микроконтинентальных блоков, образующих восточную часть хребта Южный Скоша [9, 10]. Звенья рифта и трансформные разломы смещаются при этом к югу, как бы нащупывая слабое место в мозаике микроконтинентов. Существуют данные, позволяющие предположить продолжение цепочки рифтовых звеньев далее к западу в желобах между блоками подводных возвышенностей с банками Хердмана, Дискавери, Брюс и Джейн. Рифтовый желоб зафиксирован сейсмическим профилированием на микроконтиненте Южно-Оркнейских островов [12].

К западу от этого микроконтинента рифтовое ущелье было исследовано нами в осевой части хребта Южный Скоша [9, 10]. В пересечении западного конца этого рифта с трансформным разломом лежит характерная нодальная котловина с глубинами более 5 тыс. м, значительно большими, чем по обеим сторонам хребта в морях Уэдделла и Скоша. Вершинные поверхности гребня хребта выравнены абразионным срезанием и лежат на глубинах порядка 1–1,5 тыс. м [13]. Дальнейшим звеном цепочки рифтовых грабенов к западу от о. Элефант служит хорошо изученный английский, американскими и испанскими экспедициями желоб пролива Брансфилд [14, 15]. Полученные нами по ряду галсов вдоль и поперек пролива данные дополняют результаты других экспедиций, уточняя положение поперечных разломов, на которые наложен рифт. Наша драга собрала на подводном вулкане Висков (Орка) в этом рифте образцы гидротермальной руды так называемого черного курильщика.

Ступенчатая морфология шельфа пролива Брансфилд перекликается со ступенчатым расположением исследовавшихся нами во время полетов на вертолете поверхностей абразионного срезания так называемых высоких плато Антарктического полуострова. Наиболее высоко поднятые (до высот 2,2–2–1,8 тыс. м в западной дистальной части рифта) плато постепенно спускаются вдоль ячеек рифтов в восточном направлении ступенями гигантской лестницы. Ее продолжением служат плоские вершинные поверхности хребта Южный Скоша к востоку от островов Элефант, Рожнова (Гиббс) и Шишкова (Кларенс).

Континентальная окраина рассекаемого внедряющимся рифтом массива Антарктического полуострова с Южно-Шетландскими и другими островами, судя по результатам наших исследований, соответствует представлениям о континентальных окраинах пассивного типа. Характерный для областей покровного оледенения глубокий шельф пересекают ледниковые долины, продолжаемые каньонами относительно пологого континентального склона. Местами склон осложнен глубокими краевыми плато. Предположение о возможной зоне субдукции в западной части моря Беллингаузена было высказано исследователями [16], сопоставившими результаты глубинного сейсмического профилирования с характером аномального гравитационного поля, рассчитанного по данным спутниковой альтиметрии. Наши исследования между островами Петра I и Терстон не обнаружили в структуре осадочного чехла и рельефе акустического фундамента четких признаков деформаций, свойственных зонам субдукции. Вместе с тем они подтвердили и дополнили сведения о развитии здесь мощных аккумулятивных гребней – дрейфов, связанных со сбросом осадочного материала краем ледникового щита и

выносом его со склона оползнями и суспензионными потоками [17]. Совпадение локализованного по тектонической долине лавинного выноса осадков и сформированного этим дрейфа вдоль разлома фундамента может служить одним из объяснений появления здесь линейной отрицательной гравитационной аномалии. Гигантские аккумулятивные тела дрейфов (в их строении не видно признаков деформаций, сопутствующих субдукции) также можно считать важным свидетельством пассивного характера окраины Антарктиды в море Беллинсгаузена.

Щелочные базальты подводных гор Жерлаша, о. Петра I, о. Терстон и Земли Мэри Бёрд [18] связаны с их общей системой разломов, переходящих с океанского дна на окраину континента Антарктиды. Можно предполагать большую глубину и продолжительность жизни этих разломов.

Наиболее вероятной субдукционной структурой многим исследователям представляется глубокий Южно-Шетландский желоб, лежащий у подножия северного склона цоколя Южно-Шетландских островов. Полученные здесь результаты глубинного сейсмического профилирования как будто бы свидетельствуют именно о такой тектонической природе желоба [19, 20], вызванной пододвиганием океанической литосферной плиты под континентальный массив Южно-Шетландских островов. Однако материалы наших исследований позволяют высказать предположение о его происхождении в результате вертикальных движений восточной части блока Южно-Шетландских островов. Осадочная толща в желобе и на краю ложа пролива Дрейка делится на две свиты. Распределение мощностей осадков в верхней свите соответствует нынешней морфоструктуре желоба: наибольшая масса осадков, сбрасываемых со стороны островов, отложена в седиментационной ловушке желоба и значительно меньшая часть их попадает на склон со стороны ложа пролива Дрейка и на ложе пролива. В структуре этой свиты заметны ее деформации на дне желоба, но по характеру их они могут быть интерпретированы либо как деформации сжатия, либо, скорее, как деформации вертикальных сдвигов. В нижней, второй, свите распределение мощностей осадков прямо противоположно: наименьшие мощности на дне желоба и наибольшие – на его северном склоне и на ложе пролива Дрейка. Такое распределение осадков могло быть при отсутствии желоба как седиментационной ловушки, при переносе осадков на ложе пролива. Подобное распределение осадков мы наблюдаем, например, к востоку от этого желоба, у подножия северного склона цоколя острова Элефант. Логично предположить, что желоб образовался после отложения нижней осадочной свиты в результате вертикальных обрушений восточного блока цоколя Южно-Шетландских островов, вызвавшего по-

гружение сопряженного края ложа пролива Дрейка. Данное обрушение согласуется с описанными выше погружениями высоких плато восточной части Антарктического полуострова.

Были выполнены исследования одного из крупных подводных поднятий в котловине моря Скоша. Вдоль южной окраины моря Скоша располагается ряд крупных блоковых возвышенностей. Вершины некоторых из них известны как мелководные банки Пири, Брюс, Джейн, Дискавери и Хердмана. Все они имеют угловатые контуры, ограниченные крутыми тектоническими уступами, а их массивные вершинные поверхности выровнены осадками. Нами исследовалась возвышенность Пири, лежащая к северу от Южно-Оркнейского микроконтинента и отделенная от него желобом с глубинами более 5 тыс. м. Крутой и высокий западный склон этого массивного блока имеет сбросовое происхождение. Восточный, также сбросовой, склон уступает западному по высоте, так как в целом массив возвышенности наклонен к востоку и к северу. Широкая вершинная поверхность возвышенности сглажена довольно мощным покровом осадков, тогда как на крутых сбросовых бортах ее обнажается фундамент. Возвышенность характеризуется положительными аномалиями силы тяжести, свидетельствующими о сходстве ее с микроконтинентами Южно-Оркнейских островов и группы островов Элефант, Рожнова (Гиббс) и Шишкова (Кларион). Драгировка на западном склоне возвышенности дала полный набор образцов пород древнего континентального щита – гнейсов, слюдяных сланцев, гранитов, осадочных пород платформенного типа и перекрывающих их молодых базальтов.

Исследования по генеральным широтно ориентированным профилям в южной и северной частях моря Скоша показали существенные различия в строении морской котловины. Для южной части характерно присутствие ряда массивных блоковых поднятий, по геофизическим и морфоструктурным параметрам подобных изученной детально возвышенности Пири. Это мозаика микроконтинентальных блоков, разделяемых желобами и котловинами с глубинами и геофизическими характеристиками коры океанического типа. В северной же части моря прослеживается цепочка рифтов, продолжающая рифтовые структуры пролива Дрейка. Ячейки цепи разделяются трансформными разломами Эндьюранс и Куэст в море Скоша, Шекклтона и Геро в проливе Дрейка. Особобленно от названной цепочки рифтов протягивается примерно по меридиану 30° з. д. рифогенальная система задугового хребта Южно-Сандвичевой островной дуги Восточный Скоша, детально исследованная учеными Британской антарктической службы [21].

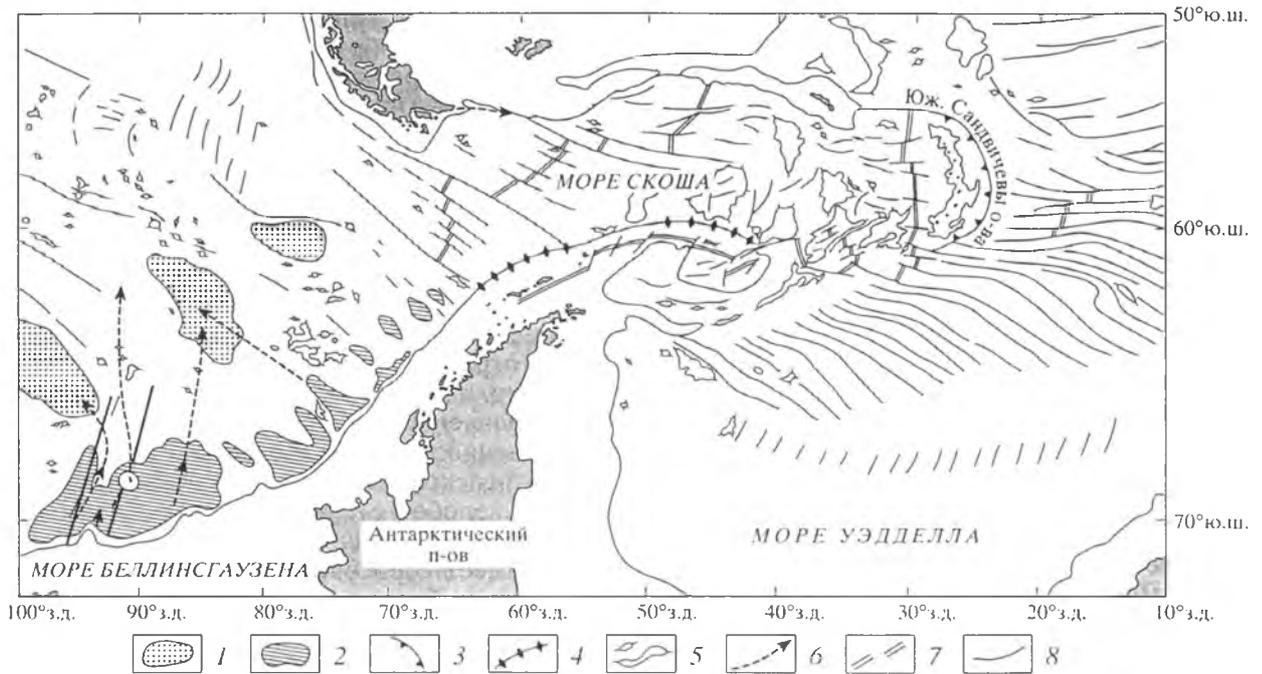


Рис. 4. Тектоническая схема Западной Антарктики.

1 – абиссальные равнины ложа океана, 2 – дрейфы, аккумулятивные хребты. 3 – глубоководные желоба островных дуг, 4 – желоба-грабены, 5 – подводные возвышенности и горы. 6 – русла суспензионных потоков, 7 – рифты, 8 – важнейшие разломы

Полученные нами данные позволяют предложить некоторые коррективы в существующие представления о геодинамике Западной Антарктики. Наиболее полно они обобщены в “Тектонической карте Дуги Скоша” группы английских и американских авторов [22]. Котловина моря Скоша и пролив Дрейка даже по предварительным результатам геокинематического мониторинга относятся к области регионального растяжения, продолжающегося в наши дни. Это растяжение привело к разобщению южной оконечности континента Южной Америки с примыкающей к ней мозаикой микроконтинентальных блоков хребта Северный Скоша и северного отрога континента Антарктиды – Антарктического полуострова с примыкающей к нему мозаикой микроконтинентальных блоков хребта Южный Скоша и юго-восточной части котловины моря Скоша. Примечательно, что в своем строении северное и южное континентально-микроконтинентальное обрамление пролива Дрейка и котловины моря Скоша весьма сходны, вызывая представление об их былом единстве. В динамике земной коры разобщение этого северного и южного обрамления сопровождалось развитием рифтогенальной системы пролива Дрейка и северной периферии котловины моря Скоша, раздроблением восточных окраин юга Южно-Американского и Антарктического континентов на мозаику микроконтинентальных блоков и внедрением в западном направлении в

пределы хребта Южный Скоша и рога Антарктического полуострова цепочки активных рифтов со стороны рифтогенали Американско-Антарктического хребта. Если рифты пролива Дрейка и северной окраины котловины моря Скоша могут рассматриваться как достигшие этапа океанического рифтогенеза, то рифты хребта Южный Скоша и пролива Брансфилд все еще проходят этап континентального рифтогенеза, о чем достаточно красноречиво говорит континентальный характер материала мантийных протрузий острова Рожнова (Гиббс) [23]. Несколько обособленно в этой системе рифтов Западной Антарктики стоит задуговой рифт хребта Восточный Скоша. Его спрединговое развитие связывают с процессом субдукции со стороны рифтогенального Южно-Атлантического хребта [21]. В целом же система спрединга в названных рифтах представляется несогласованной с краями кратонных плит, а в части рифтов пролива Дрейка, северной окраины моря Скоша и хребта Южный Скоша и пролива Брансфилд не сопряжена с феноменом субдукции. По нашим данным, на северной окраине в периферических частях пролива Дрейка и котловины моря Скоша субдукция также не проявляется. Этими характеристиками она сходна с системой рассеянных рифтов Северо-Фиджийской котловины [24]. Ложе котловины моря Скоша вряд ли следует рассматривать в качестве жесткой плиты. Оно представляет, скорее, сложный ансамбль ми-

континентальных блоков, котловин-талассогенов и рифтогенальных систем (рис. 4). По-видимому, региональное растяжение в области Западной Антарктики привело к растрескиванию бывшего континентального массива и к выплескиванию глубинных базальтовых расплавов над обширным мантийным воздыманием [25, 26], позднее локализованному в форме квазиконвекции и нашедшему отражение в рассеянных и внедряющихся рифтах пролива Дрейка, моря Скоша, хребтов Восточный и Южный Скоша и пролива Брансфилд [13].

Работа выполнялась при финансовой поддержке Министерства науки и технологий РФ (грант ГП-700, ГП-025) и РФФИ (грант № 97-05-64-431).

ЛИТЕРАТУРА

1. Dalziel W.D. The Scotia Arc: An International Geological Laboratory // Episodes, 1984. V. 7.
2. Герасименко М.Д. Проблемы расширения Земли в свете данных космической геодезии // Тихоокеанская геология. 1996. Т. 15. № 3.
3. Robbins J.N., Smith D.E., Ma C. Horizontal crustal deformation and large scale plate motions inferred from space geodetic techniques // Contribution of space geodesy to geodynamics. Crustal Dynamics. Geodynamics. 23. A. Geophys. Un. 1993.
4. Larson K.M., Freymuller J. Relative motions of the Australian, Pacific, and Antarctic plates estimated by the Global Positioning System // Geophys. Res. Lett. 1995. V. 22.
5. Dixon T.H. GPS measurements of relative motions of the Cocos and Caribbean plates and strain accumulation across the Middle America Trench // Geophys. Res. Lett. 1993. V. 20.
6. Larson K.M. Deformations in the southern California borderlands // J. Geophys. Res. 1993. V. 21.
7. Dietrich R. The Geodetic Antarctic Project GAP95. German Contributions to the SCAR 95 Epoch Campaign. München.: Deutsche Geodatische Kommission, 1996.
8. Heck B., Kutterer H., Lindner K., Mayer M. Application of Spectral and Sensitivity Analysis Including Systematic Effects for the Design and Analysis of GPS Networks / Dietrich R. (ed.) // The Geodetic Antarctic project GAP95, München, 1996.
9. Удинцев Г.Б., Шенке Г.В., Кольцова А.В., Князев А.Б. Рифты Западной Антарктики // Докл. АН. 1997. Т. 355. № 6.
10. Удинцев Г.Б., Шенке Г.В., Кольцова А.В., Князев А.Б. Внедряющиеся и рассеянные рифты Западной Антарктики // Океанология. 1998. Т. 38. № 6.
11. Chatenet M. L'Amiral Jean-Baptiste de Traversay. Un Français ministre de la Marine des Tsars. Paris: Tallandier, 1996.
12. Кавун М.М., Винниковская О.С. Геологическое строение северо-западной части моря Уэдделла (Антарктика) // Бюлл. МОИП, отд. геол. 1993. Т. 68. Вып. 6.
13. Vegas R., Acosta J., Uchupi E. Continental-Oceanic crustal transition in the Bransfield trough and the Scotia South Ridge (Antarctica); preliminary results / Banda et al. (eds.) // Tifted Ocean-Continent Boundaries, Kluwer Academic Publisher, 1995.
14. Lawver L.A., Ghidella M., Von Herzen R.P. et al. Distributed, Active Extension in Bransfield Basin, Antarctic Peninsula: Evidence from Multibeam Bathymetry // GSA Today. 1996. V. 6. N 11.
15. Gracia E., Canals M., Farran M. et al. Morphostructure and Evolution of the Central and eastern Bransfield basins (NW Antarctic Peninsula) // Marine Geophysical Researches. 1996. V. 18.
16. Gohl K., Nitsche F.O., Miller H. Seismic and gravity data reveal Tertiary intraplate subduction in the Bellinghausen Sea, southeast Pacific // Geology. 1997. V. 25. N 4.
17. Rebecco M., Larter R.B., Camerlenghi A., Barker P.F. Giant sediment drifts on the continental rise west of the Antarctic Peninsula // Geo-Marine Letters. 1996. V. 16.
18. Hole M.J., Storey B.C., LeMasurier W.E. Tectonic setting and geochemistry of Miocene alcaic basalts from the Jones Mountains, West Antarctica // Antarctic Science. 1994. V. 6.
19. Grad M., Guterch A., Janik T. Seismic structure of the lithosphere across the zone of subducted Drake plate under the Antarctic plate, West Antarctica // Geophys. J. Int. 1993. V. 115.
20. Trouw R.A.J., Gamboa L.A.P. Geotranssect Drake Passage - Weddell Sea, Antarctica // Recent Progress in Antarctic Earth Science, TERRARUB, Tokyo, 1992.
21. Livermore R.A., Cunningham L.E., Vanneste L.E., Larter R.D. Subduction influence on magma supply at the East Scotia Ridge // Earth and Planetary Sci. Lett. 1997. V. 150.
22. Tectonic map of the Scotia arc, 1:3 000 000. BAS (Misc.) 3, Cambridge, British Antarctic Survey, 1985.
23. Сулантьев С.А., Базылев Б.А., Удинцев Г.Б., Шенке Г.В. Происхождение и условия формирования гипербазитового комплекса о. Гиббс. Южно-Шетландские острова, Западная Антарктика // Петрология. 1997. Т. 5. № 3.
24. Ruellan E., Lagabrielle Y., Tanahashi M. Shipborn Party Study Yields Surprises about Seafloor Spreading in Back-Arc Basins // EOS. 1996. V. 77. N 38.
25. Basu A.R., Poreda R.J., Renne P.R. et al. High-³He Plumes Origin and Temporal-Spatial Evolution of the Siberian Flood Basalts // Science. 1995. V. 269.
26. Storey B.C. The role of mantle plumes in continental breakup: case histories from Gondwanaland // Nature. 1995. V. 377. N 6547.