

**О ГЕОЛОГИИ ОСТРОВА ПЕТРА I И ВЕРОЯТНОЙ ДИНАМИКЕ РАЗВИТИЯ
ЗАПАДНОЙ АНТАРКТИКИ В МОРЕ БЕЛЛИНСГАУЗЕНА**

Г.Б. Удинцев*, **Р. Герзонде****, **Д.Е. Тетерин***, **Г.В. Шенке****, **А.Ф. Береснев***,
К. Голь**, **Н.А. Титаева*****, **А.Н. Феногенов***, **Н.А. Куренцова***, **И.А. Рощина***

*Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской Академии наук, г. Москва

**Институт полярных и морских исследований им. Альфреда Вегенера, Бремерхафен, ФРГ

***Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва

Для земной коры океанского дна Западной Антарктики, в морях Беллинсгаузена и Амундсена, характерно присутствие многочисленных разломов и подводных гор. Происхождение и природа этих структур до сих пор неясны. Между тем, морфология, глубинное строение и петрология их фундамента могут служить ключом к пониманию геодинамики Западной Антарктики. Эти структуры оказывают большое влияние на транспортировку осадочного материала, поставляемого в океан с окраины Западной Антарктиды. Взаимоотношения между зонами разломов, вулканическими постройками и транспортировкой осадочного материала суспензионными потоками явились предметом совместных российско-германских исследований в 1998–2001 гг. Полученные данные позволяют высказать предположение о деструктивном развитии континентальных окраин морей Беллинсгаузена и Амундсена альтернативно развитым представлениям об их субдукционном развитии.

Ключевые слова: морфология, глубинное строение, петрология, геодинамика, о. Петра I, Тихий океан, Западная Антарктика.

ВВЕДЕНИЕ

На протяжении ряда последних лет в рамках Российско-Германского соглашения о научном сотрудничестве в исследованиях Мирового океана, Арктики и Антарктики велись совместные исследования Западной Антарктики. Важное место в них занимали морские геофизические и геологические исследования. Их целью было получение дополнительных данных о строении дна океана, о роли в нем подводных хребтов, подводных гор, рифтовых зон и зон разломов, подводных каньонов континентального склона и глубоководных каналов суспензионных потоков. Существование таких морфоструктурных и морфоскульптурных объектов на дне пролива Дрейка и морей Беллинсгаузена и Амундсена выявлено ранее [5] и отражено, в частности, на “Генеральной Батиметрической Карте Океанов” [11] и на картах, основанных на конверсии данных спутниковой альтиметрии [16, 17], но детальных исследований их с надежными определениями географического положения и особенностей геологического строения было недостаточно.

Остров Петра I – один из островов Западной Антарктики. Он находится в южной части Тихого океана, в море Беллинсгаузена, примерно в 400 км к

северу от берега Эйтса, северного побережья Земли Элсуорта, что в западной части Западной Антарктиды (рис.1). Остров был открыт в 1821 г. первой русской Антарктической экспедицией Беллинсгаузена и Лазарева на кораблях “Восток” и “Мирный” и назван в честь основателя русского флота императора Петра Великого. После этого остров неоднократно посещался экспедициями на судах разных стран. Наиболее подробно он был исследован норвежскими экспедициями на судах “Одд-1” (1927), “Норвегия” (1929), “Аврора” (1987), что было связано первоначально, по-видимому, с неудавшимися попытками норвежцев основать на острове базу для китобойного промысла, а позднее – с участием Норвегии в международных программах научных исследований Антарктики.

Остров Петра I имеет вулканическое происхождение. Судя по наблюдаемому на его склонах фумароллам, вулканическая активность вулкана ещё не угасла. Он практически полностью покрыт льдом и снегом. Обнажены только крутые береговые обрывы. В летний сезон могут быть свободны ото льда и снега лишь небольшие участки низменных северных берегов и терраса мыса Михайлова на восточном берегу. Остров имеет очертания, близкие к овалу, размером 19 км в направлении с севера на юг

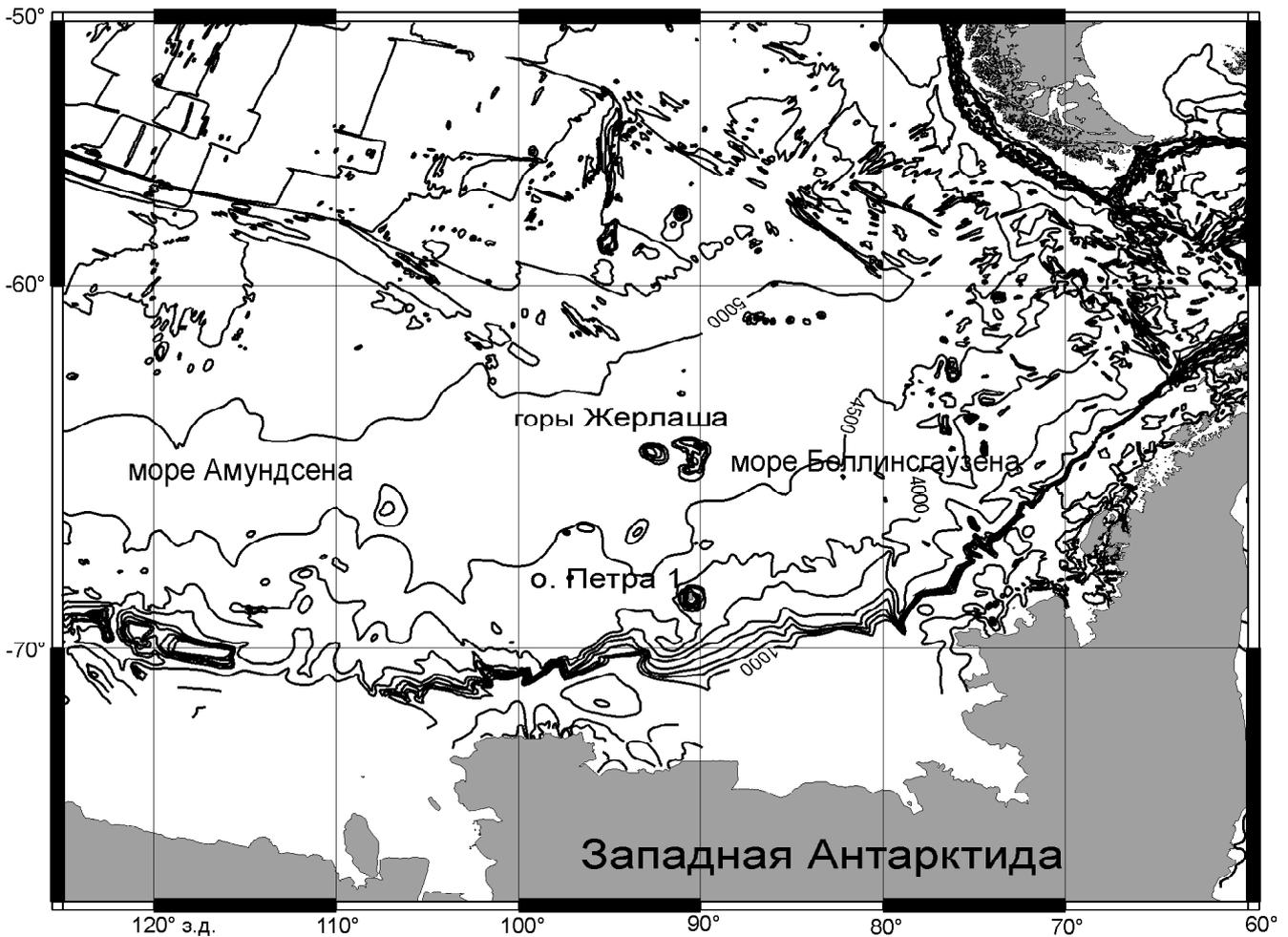


Рис. 1. Положение о.Петра 1. В качестве основы использована “Генеральная батиметрическая карта океанов“ [11].

и 13 км – с востока на запад [13]. Высота его над уровнем моря достигает, по норвежским данным, 1640 м [15], а по данным русских навигационных карт – 1740 м. Такие различия в указаниях высот возможно связаны с ошибками измерения или вызваны изменениями в рельефе ледяного покрова острова и проявлениями вулканической активности. До недавнего времени не было систематических исследований подводной части острова и прилегающей части ложа океана. Глубинное сейсмическое профилирование было выполнено германскими и британскими экспедициями в 1993–1995 гг. на исследовательских судах “Полярштерн” и “Джеймс Кларк Росс” на отдельных профилях к югу и к северу от острова Петра 1 [12].

Остров Петра 1 – это надводная часть вулкана, поднимающегося над ложем океана с глубин порядка 4000 м. Полная высота этого вулкана, с учетом надводной и подводной частей, достигает 5600 м. Ширина его в основании примерно 90 км.

Остров Петра 1 лежит на крупном разломе океанского ложа. На карте аномального поля силы тя-

жести, основанной на данных спутниковой альтиметрии [16], этот разлом продолжается к северу по крайней мере до 62° ю.ш., а возможно, даже далее – до 60° ю.ш. На широте 65°–65°20' ю.ш. на этом разломе находятся подводные вулканы – горы Жерлаша [8]. По названиям этих гор и острова Петра 1 этот разлом получал в работах разных авторов название то разлома Жерлаша, то разлома Петра 1. К югу продолжение этого разлома прослеживается, по данным глубинного сейсмического профилирования экспедиции ANT-XVIII/5a, в структуре континентального склона. Возможно, что он продолжается ещё дальше вглубь континентальной окраины Западной Антарктиды до гор Джонса на Земле Элсуорта.

К западу от зоны разлома острова Петра 1 лежит другая крупная зона разлома. Она была впервые выявлена по картам аномального гравитационного поля, основанным на данных спутниковой альтиметрии [16], как зона интенсивных отрицательных аномалий силы тяжести – до 120 мГал (рис.2). Германские исследователи назвали эту аномалию Бел-

лингаузеновской Гравитационной Аномалией (БГА) [7]. Экспедиция на нис "Полярштерн" в 1994–1995 гг. наблюдала на профиле глубинного сейсмического профилирования по параллели 69°30' ю.ш. связь этой гравитационной аномалии с разломом в структуре фундамента и осадочного чехла. Эту зону разлома логично называть также по имени Беллингаузена. Северное продолжение разлома, по-видимому, пересекается с разломом Петра там, где находятся горы Жерлаша.

ВЫПОЛНЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования, обсуждаемые в настоящей статье, проводились в районе о. Петра I в 29-м (1998 г.) рейсе нис "Академик Борис Петров"(ГЕОХИ) и в рейсе ANT-XVIII/5 (2001 г.) нис "Полярштерн" (АВИ). В ходе этих работ было выполнено детальное

многолучевое эхолотирование верхней части подводных склонов острова и проведена геофизическая съемка на полигоне в пределах от 67°45' до 69°45' ю.ш. и от 88° 50' до 96°00' з.д. По 12 параллельным галсам велось многолучевое эхолотирование, сопровождавшееся гравиметрической съемкой, а на 9 галсах – сейсмическим профилированием. По данным эхолотирования построена первая достаточно детальная карта рельефа подводных склонов острова Петра I (рис.3) и менее детальная карта рельефа прилегающего к острову ложа океана (рис.4). По данным набортной гравиметрической съемки построена карта аномального поля силы тяжести в редукции в свободном воздухе (рис.5). Она детализирует структуру этого поля по сравнению с картой, основанной на данных спутниковой альтиметрии, в

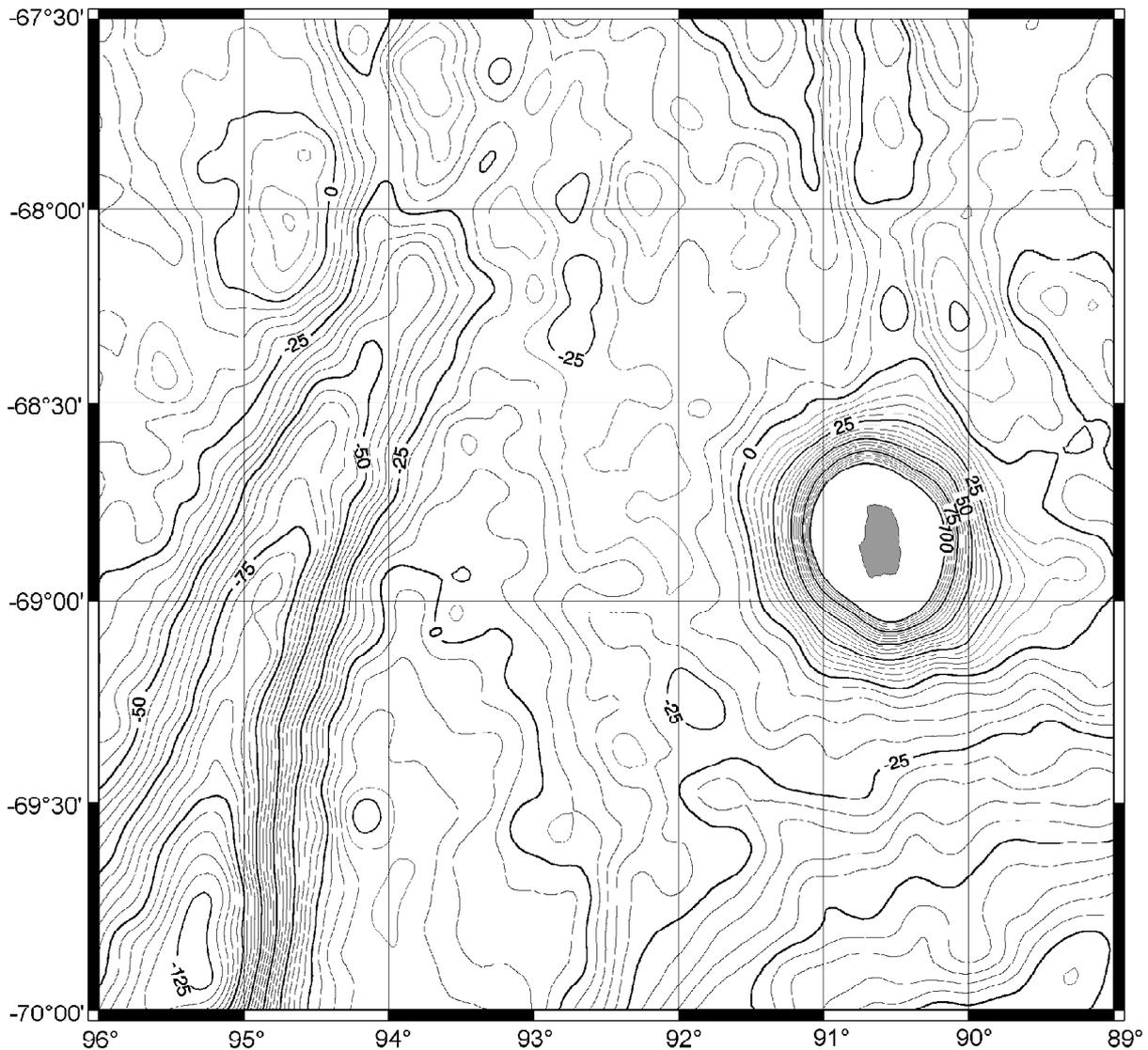


Рис. 2. Аномальное поле силы тяжести в районе о.Петра I, по [16].

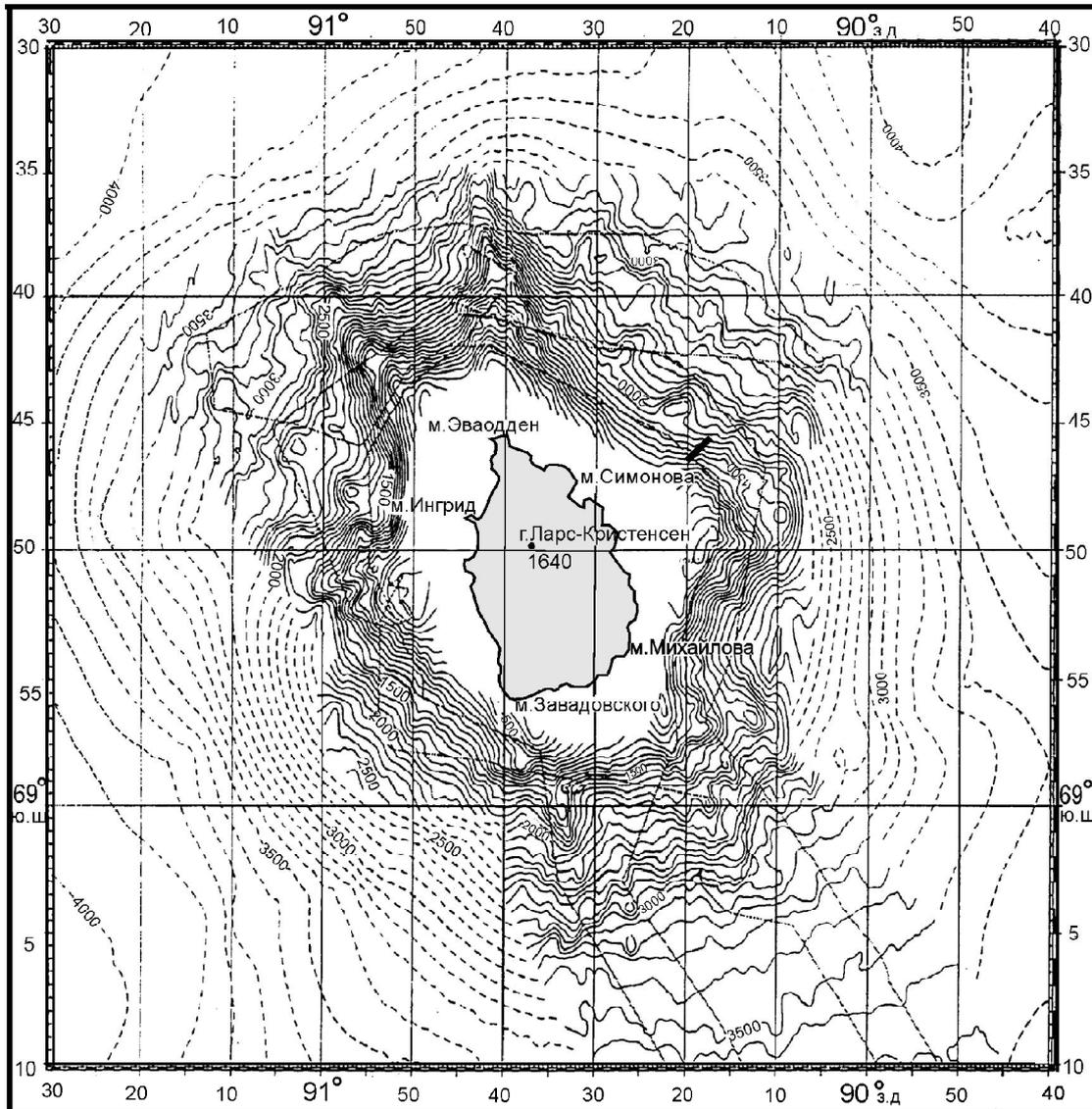


Рис. 3. Рельеф подводного цоколя о. Петра 1 (Г. Удинцев, М. Jасорс, S. Gauger). Показан маршрут многолучевого промера рейса АНТ-18/5 нис "Полярштерн". Утолщенной линией показано место драгирования в 29 рейсе нис "Академик Борис Петров" .

частности, дает представление о более дробном, ячеистом строении БГА.

На острове, на мысе Михайлова, были собраны геологические образцы, а с подводного склона острова образцы были получены драгированием и с помощью дночерпателя. Собранные образцы подвергнуты геохимическому изучению.

Координаты острова в ходе наших работ были уточнены. Поскольку большая часть поверхности острова закрыта льдом, края которого меняют свои очертания, то наиболее надежными являются определения положения свободных ото льда восточного (Берег Беллингаузена) и западного (Берег Лазарева)

береговых обрывов. Привязываемое к положению этих береговых обрывов положение центра площади острова может быть определено сейчас координатами $68^{\circ}51'$ ю.ш. и $90^{\circ}35'$ з.д., что примерно на 4 мили южнее, чем на навигационных картах.

Непрерывное сейсмическое профилирование (НСП) с одноканальной приемной косой на полигоне в районе о. Петра 1 выполнялось в условиях шторма силой до 7–8 баллов. Расшифровка записей, осложненных фоном сильных шумов, еще не завершена, однако даже в предварительно обработанном виде они дают представление о строении осадочного чехла. Запись отражений от акустического фунда-

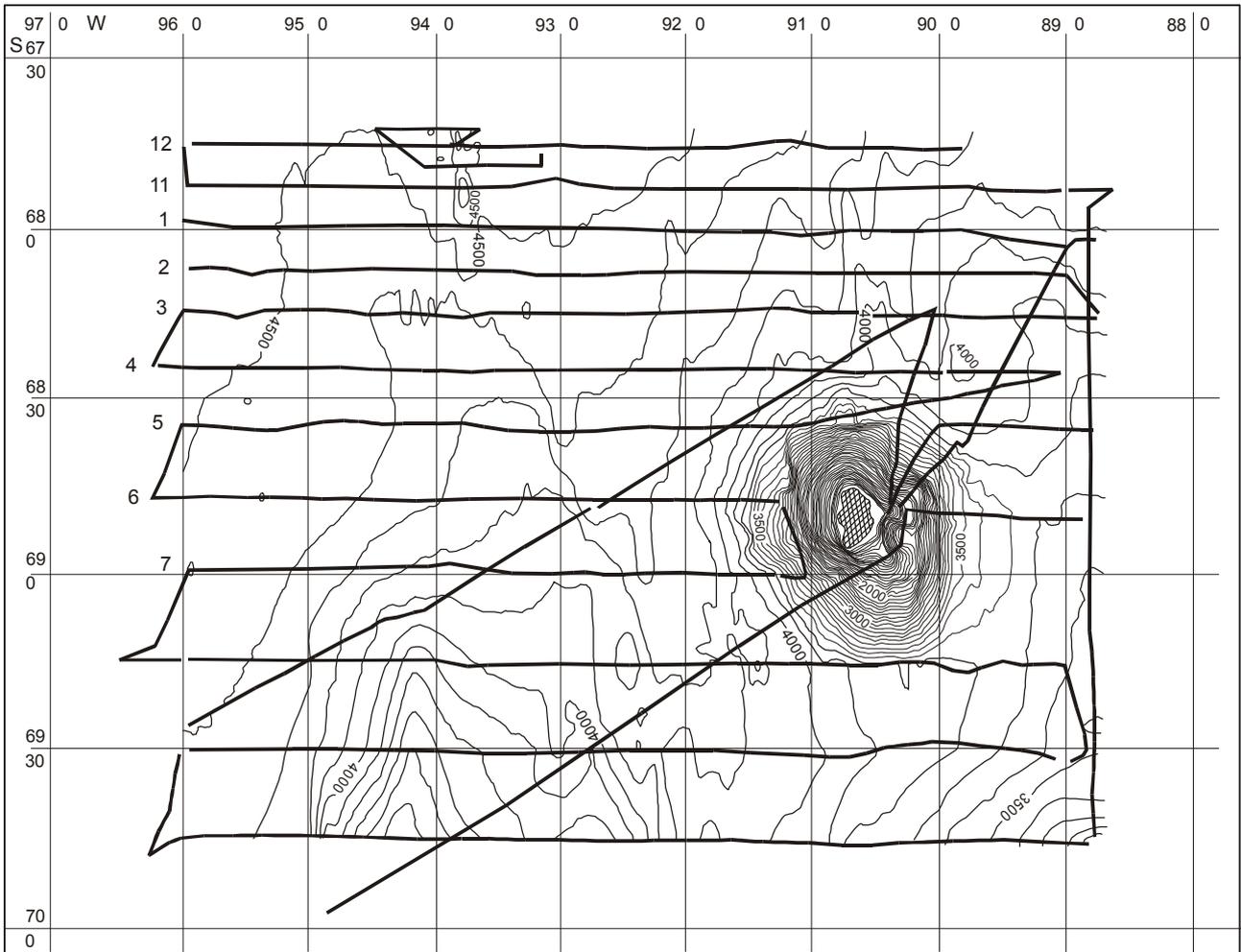


Рис. 4. Рельеф дна, маршрут геофизической съемки и сейсмического профилирования на полигоне в районе о. Петра I 29 рейса нис “Академик Борис Петров”.

мента прерывиста, местами теряется, но все же дает представление о дислокациях и вулканической активности вдоль линий вероятных разломов.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Многочувствительным эхолотированием была закартирована верхняя часть склонов острова – от внешнего края островного шельфа до глубин порядка 2500–3000 м (рис.2). В очертаниях шельфа и островного склона выделяются два приметных простирания – 355° и 325°. Первому из них соответствуют удлиненные выступы к северу от мыса Эваодден и к югу от мыса Завадовского, второму – также удлиненные выступы к северо-западу от мыса Ингрид и к юго-востоку от мыса Михайлова. Вероятно, эти простирания отражают заложение локальных разломов, с которыми связаны излияния лавы. Такое

предположение находит подтверждение в том, что к северу от острова на продолжении простирания 355° обнаружены небольшие подводные вулканические конусы. Более широкие выступы склона образованы на восток от Берега Беллингаузена (восточный берег острова) и на запад от Берега Лазарева (западный берег). Эти широкие выступы, вероятно, отвечают сбросам на склонах вулкана, отмечаемым в надводной части крутыми сбросовыми обрывами по восточному и по западному склонам острова.

Поверхность подводных склонов острова имеет сложные очертания, отражающие, по-видимому, морфологию лавовых потоков. Примечательны подводные террасы на западном склоне острова на глубинах примерно 1600–1700 м и 2300–2400 м. Можно предположить, что это древние абразионные террасы, современное положение которых отмечает погру-

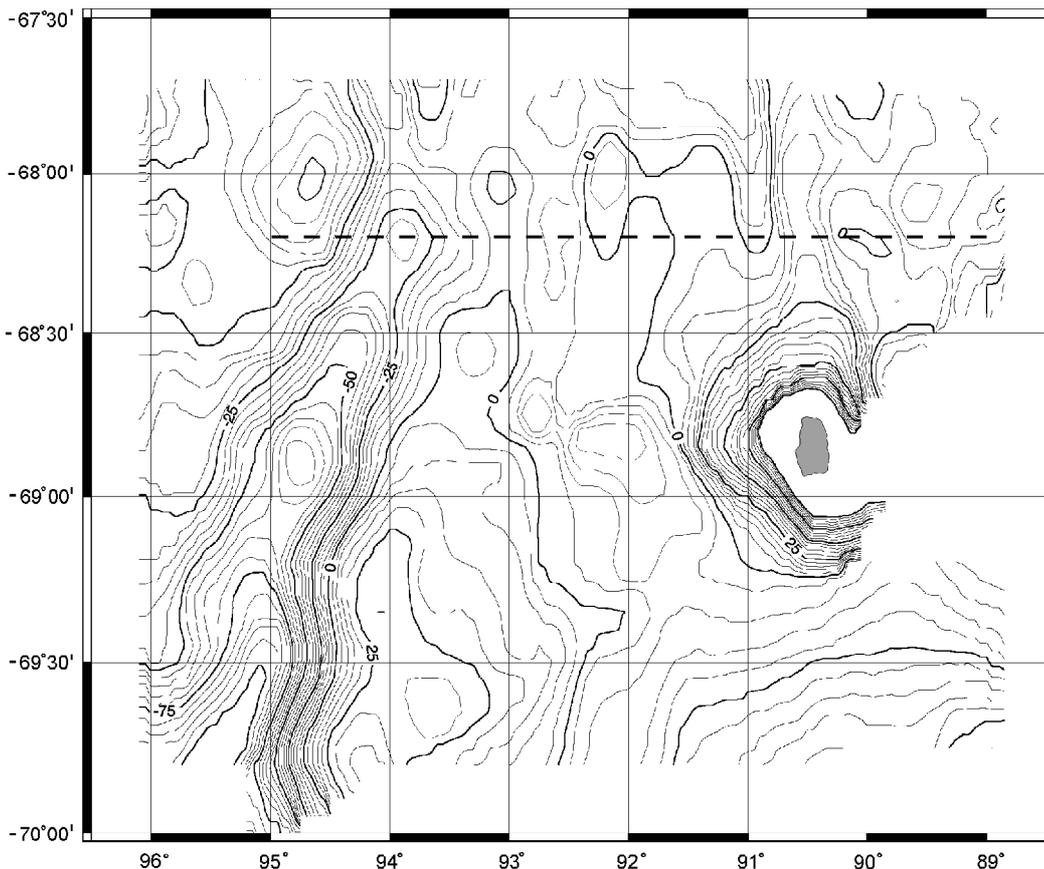


Рис. 5. Аномальное поле силы тяжести в районе о. Петра 1 по данным гравиметрической съемки нис "Академик Борис Петров" (29 рейс) (А.Бульчев, Д.Гиллод). Пунктиром показано положение плотностной модели по профилю 2 (рис.4).

жение острова с амплитудой порядка 1700 м и 2400 м. На острове были собраны образцы слагающих его вулканических пород – щелочных базальтов и трахиандезитов.

Драгировка на восточном подводном склоне острова на глубинах от 2000 м до 1500 м принесла образцы оливинного базальта, близкого по своему составу базальтам гор Жерлаша, и большой (около 10 кг) фрагмент гиперпрессованной ледниковой глины. Нахождение этой глины на глубинах драгирования кажется подтверждением предположения о погружении острова с амплитудой порядка 1600–1700 м. Известно, что плоские вершины и террасы на склонах гор Жерлаша также свидетельствуют об их погружениях. [8].

Основание острова Петра 1 лежит в области континентального подножья или аккумулятивного шлейфа континентального склона Западной Антарктиды. Мощность осадочного чехла здесь достигает 1,5–2 км [12]. Сейсмическое профилирование нис "Академик Борис Петров" в 1998 г. [3] на рассматриваемом здесь полигоне показало, что в развитии осадочного чехла важную роль играют суспензионные потоки, вдоль каналов которых формируются крупные прирусловые аккумулятивные тела (рис.6),

получившие в литературе по геологии Западной Антарктики название дрефтов [5, 12].

В пределах полигона в рельефе дна и в строении осадочного чехла наблюдаются два крупных дрефта – западный, сопряженный с зоной разлома Беллинсгаузена, и восточный, лежащий к востоку от о. Петра 1. Руслу потоков в своих верховьях первоначально следовали понижения рельефа и каньонам континентального склона, но с удалением в океан стали мигрировать, приспособившись уже к рельефу ложа котловины моря Беллинсгаузена с его разломами и вулканической постройкой о.Петра 1, а также подвергаясь воздействию силы Кориолиса (рис.7). Так, канал суспензионного потока и формируемый этим потоком западный дрефт на юге полигона следуют сначала примерно вдоль БГА и разлому Беллинсгаузена, но на 69° ю.ш. уже заметно отклоняются к западу и на 68°15' ю.ш. пересекают линию этого разлома. Ось наибольших мощностей восточного дрефта также смещается к западу и огибает о. Петра 1 с севера. Вулканические конусы на разломе к северу от острова могли играть роль седиментационных барьеров.

В стратификации осадочного чехла очевидна смена во времени слоев, формировавшихся суспензионными потоками. В литературе по морской геоло-

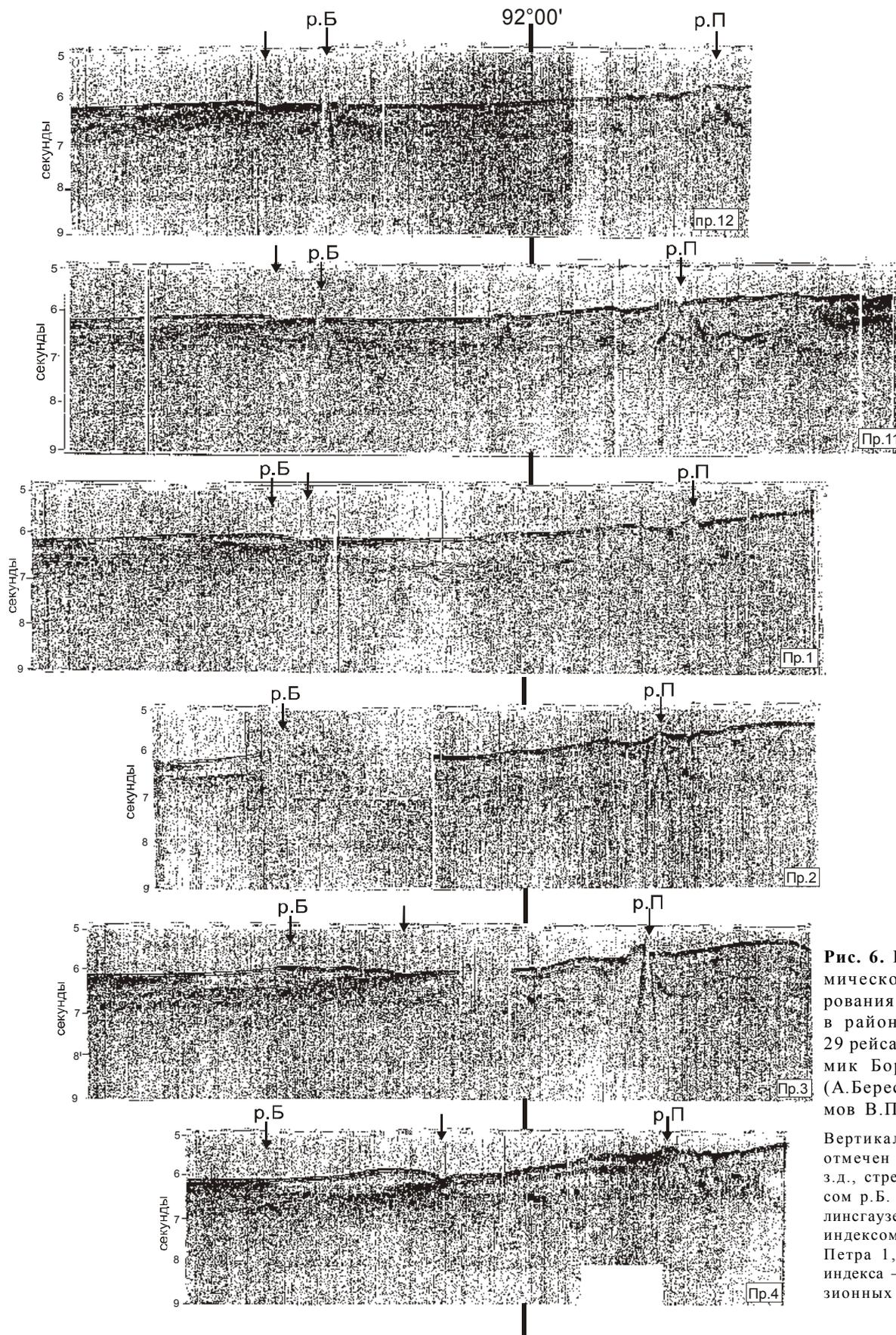


Рис. 6. Разрезы сейсмического профилирования на полигоне в районе о.Петра I 29 рейса нис “Академик Борис Петров” (А.Береснев, П.Ефимов В.Побержин).

Вертикальной линией отмечен меридиан 92° з.д., стрелкой с индексом р.Б. – разлом Беллинсгаузена, стрелкой с индексом р.П – разлом Петра I, стрелкой без индекса – канал суспензионных потоков.

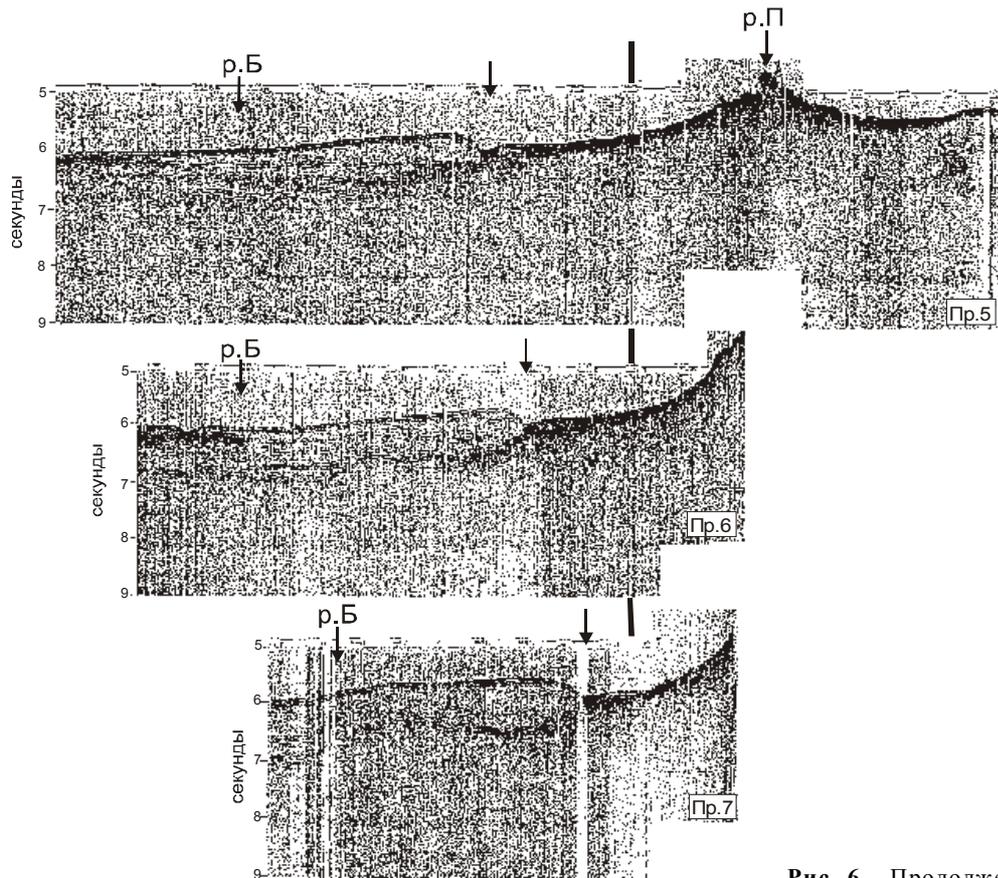


Рис. 6. Продолжение.

гии Западной Антарктики разработаны представления о вариациях типов и темпов осадконакопления, связанных с пульсациями края ледникового щита в периоды потеплений и похолоданий климата [5, 7, 12]. Показано, что интенсивность выноса осадочного материала суспензионными потоками и формирования дрифтов возрастают в периоды похолоданий и выдвижения края материкового ледника к северу. Пропавшая рыхлая, преимущественно биогенные (диатомовые илы) и отчасти терригенные (ледниковые) осадки широкого шельфа, накопившиеся в период потепления, край ледника сбрасывает их на континентальный склон, где они становятся объектом оползней и суспензионных потоков. Особенно большие, судя по нашим данным, мощности восточного дрифта соответствуют оптимальным возможностям формирования большой массы биогенных осадков на широком шельфе южной части моря Беллинсгаузена к востоку от о.Терстон.

Примечательно довольно быстрое сокращение мощности западного дрифта в направлении к северной окраине полигона, тогда как восточный дрифт и на этом удалении от континентального склона сохраняет большую мощность.

Вероятно, в случае западного дрифта это отражает относительную скудость поступления осадоч-

ного материала со сравнительно узкого шельфа района о.Терстон.

Интенсивные отражения от поверхности дна вокруг цоколя о.Петра 1 на профилях 5, 6 и 7 (рис.6) обусловлены, как легко предположить, лавовыми потоками и слоями пеплового материала этого вулкана.

В рельефе акустического фундамента заметно продолжение разлома Петра в направлении к горам Жерлаша по дислокациям типа односторонних сбросов и небольшим вулканическим конусам. Разлом Беллинсгаузена прослеживается менее четко, но также отмечен односторонними сбросами и малыми вулканическими формами. Эти особенности строения фундамента отражены в двухмерной плотностной модели земной коры по профилю вдоль параллели $68^{\circ}12'$ ю.ш (рис.8), составленной А.А. Булычевым и Д.А. Гилод [3].

Согласно этой модели толщина земной коры на основном протяжении профиля равна 10 км, но возрастает до 12–13 км в его восточной части. Плотность осадочного чехла принята $2,32\text{--}2,37\text{ г/см}^3$. Мощность его наибольшая – до 2 км – вдоль зоны разлома Беллинсгаузена. Плотность надбазальтового слоя земной коры на большей части профиля – $2,67\text{ г/см}^3$, но резко увеличена до $2,79\text{ г/см}^3$ в узкой полосе западнее БГА и разлома Беллинсгаузена и до

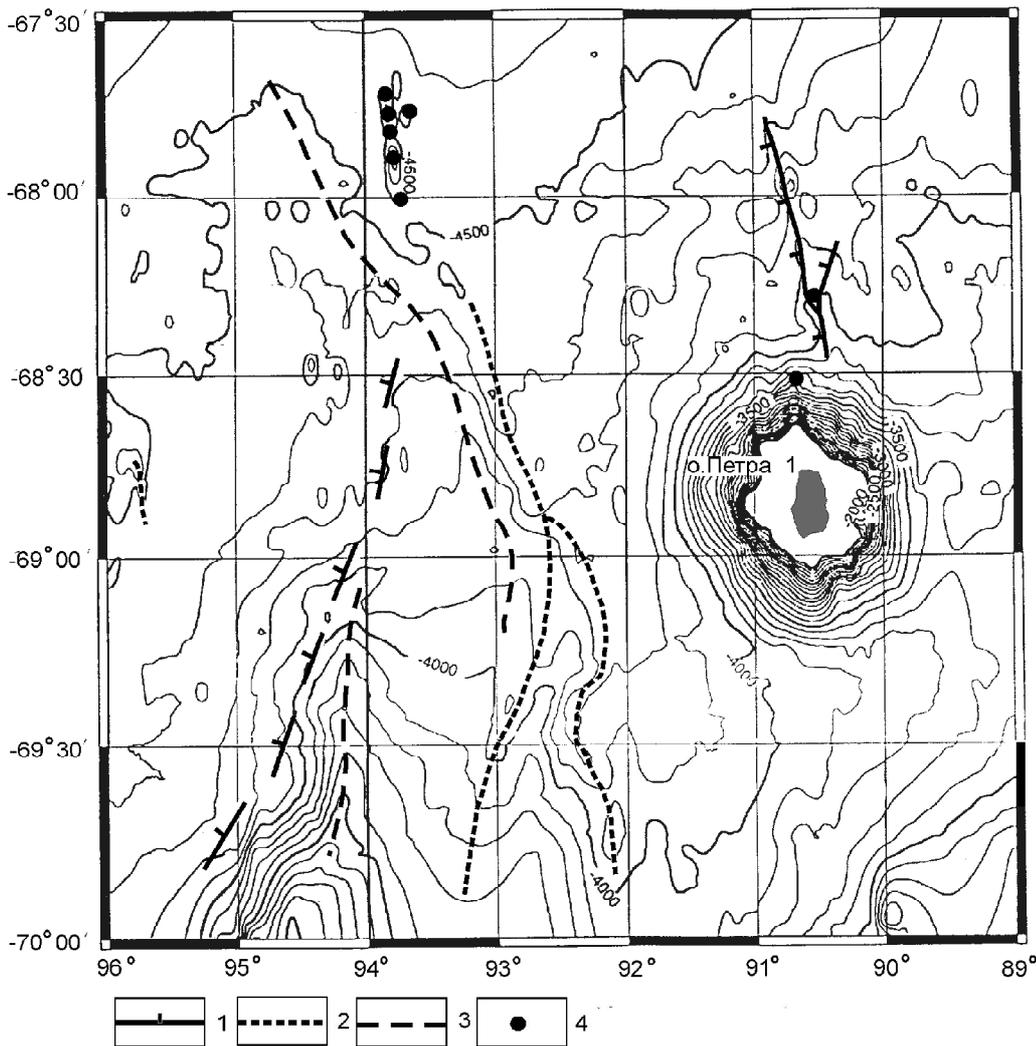


Рис. 7. Геоморфологическая схема дна океана в районе о.Петра I.

1 – разломы, 2 – глубоководные каналы суспензионных потоков, 3 – гребни седиментационных хребтов (дрифтов), 4 – малые вулканические конусы.

2,79–2,85 г/см³ – в мозаике блоков в широкой полосе зоны разлома Петра I. Плотность базальтового слоя в среднем 2,90 г/см³. Резкое утонение коры до 8 км связано с разломом Беллингаузена. Участки профиля с наибольшей плотностью надбазальтового слоя коры в зоне разлома Петра I имеют по этой модели и более мощную кору, тогда как участок высокой плотности западнее БГА и разлома Беллингаузена сопряжен с сокращением мощности коры. Количественные оценки мощностей и плотностей на приводимой модели, несомненно, весьма приближены в силу её двумерности и недостаточно ясной информации о структуре осадочного чехла и акустического фундамента. Можно предполагать, что повышенные плотности надбазальтового слоя связаны с проявлениями базальтовых излияний вдоль разломов Беллингаузена и Петра I, и что БГА на этом профиле обусловлена сочетанием прогиба утоненной коры и возросшей в разломе Беллингаузена толщины осадочного слоя.

Для объяснения природы БГА и структуры разлома Беллингаузена возможны две альтернативы. Первое объяснение, развитое германскими исследователями - зона разлома была в прошлом зоной субдукции океанической плиты под другую океаническую же плиту и под окраину континентальной плиты Западной Антарктиды, а БГА обусловлена субдукционной структурой твердой коры и сочетанием в строении осадочного слоя мощной аккреционной призмы и мощного тела дрифта [7]. Российские участники совместных исследований предпочитают представление о разломе Беллингаузена как одной из развитых по окраине Западной Антарктиды трещин растяжения, продолжающихся в пределы ложа океана. В пределах исследованного полигона этот разлом в фундаменте имеет облик одностороннего сброса умеренной амплитуды без очевидных признаков продолжения субдукционной структуры к северу от профиля, где подобие такой структуры было отмечено в [7]. Нам кажется также, что там та-

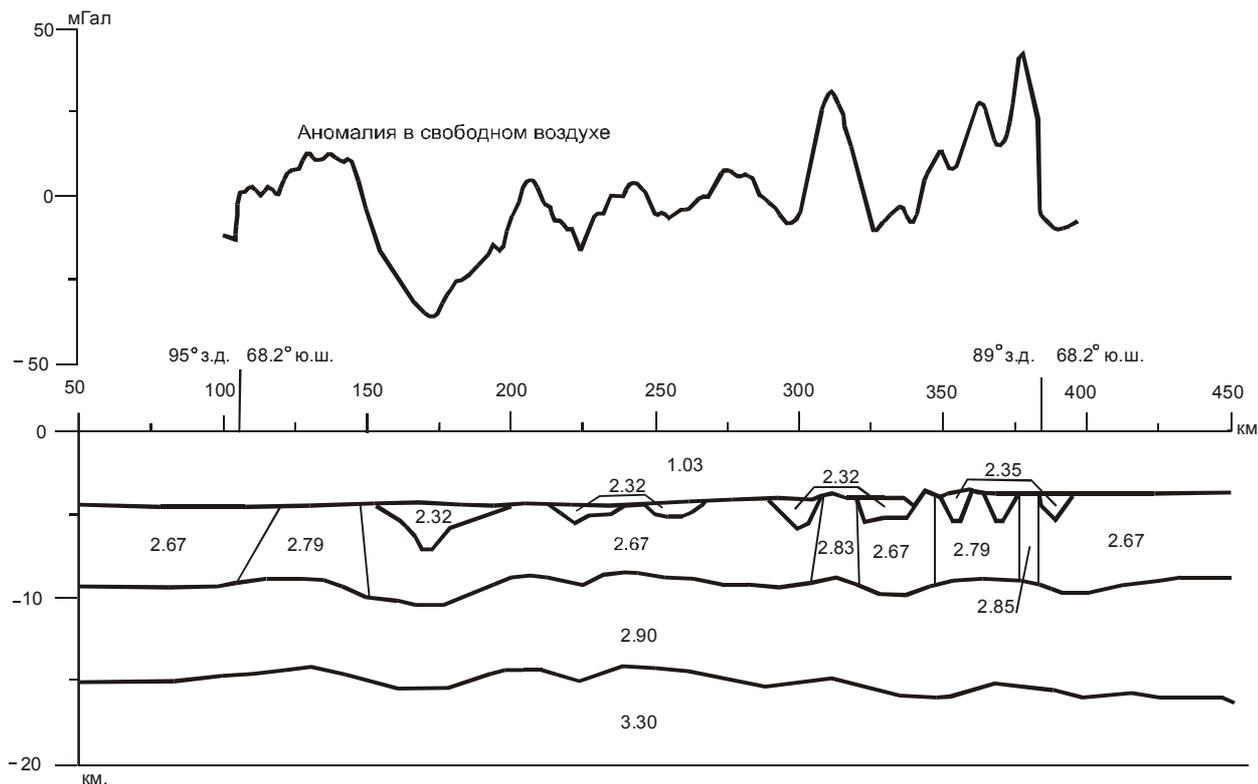


Рис. 8. Плотностная модель строения земной коры по параллели $68^{\circ}12'$ ю.ш. (профиль 2 на рис. 4 и 6) по данным гравиметрической съемки нис “Академик Борис Петров” (29 рейс) на полигоне в районе о. Петра 1 (А. Булычев, Д. Гилод).

кая структура могла быть отражением сложной локальной структуры разлома фундамента нижней части континентального склона, секомого профилем вдоль его генерального простираения. Именно этим, как нам кажется, можно объяснить быстрое уменьшение интенсивности БГА в северном направлении одновременно с уменьшением мощности аккумулятивного тела современного дрефта и подстилающих его палеодрифтов. Примечательно, что северное окончание БГА совпадает с появлением вулканических конусов на разломе Беллинсгаузена и смещением к западу от разлома дрефтового гребня.

К сожалению, строение разлома Беллинсгаузена и БГА остается изученным ещё недостаточно, и однозначные выводы об их природе и о роли субдукционного процесса по окраине Западной Антарктики без дополнительных исследований затруднены. Поэтому оба альтернативных варианта интерпретации БГА при существующем уровне знаний остаются достаточно правомерными.

Исследования образцов пород острова Петра 1 показали, что среди них преобладают щелочные оливиновые базальты, наряду с которыми встречены в меньшем количестве трахиандезиты, андезиты,

трахиты, туфы риолитового состава с включением обломка кварцита, мелкие обломки габброноритов и лейкократовых гранитов (табл.). По данным Т. Прествика и др. [14], в щелочных базальтах острова находятся ксенолиты кварца, вулканического стекла и плагиоклаза, возможно связанные в своем происхождении с гранитом, гнейсом или аркозовым песчаником.

Создается впечатление, что породы острова представлены двумя магматическими формациями: относительно древней (палеоген-неогеновой) андезит (трахиандезит)-риодацитовый с малыми телами гранитоидов и более молодой (плейстоценовой) субщелочных оливиновых базальтов-трахитов с габброидами. Породы первой магматической формации относятся к известково-щелочной (К-Na) серии, а второй – к субщелочной (К-Na) [4].

Определения возраста базальтов К/Аг методом также распадаются на две возрастные группы, соответствуя, по-видимому, выделяемым нами формациям – 13 млн лет [6] и 0,33–0,1 млн лет [14, 15]. Исходя из оценки объема вулкана острова вместе с его подводной частью и вероятной скорости накопления изверженного материала, Т. Прествик с соавторами

Таблица. Химический состав базальтов о. Петра I.

Окислы, элемент-ты	1	2	3	4	5
SiO ₂	47.42	50.30	53.78	61.73	52.45
TiO ₂	3.64	3.34	2.63	0.84	1.81
Al ₂ O ₃	12.91	14.56	16.01	17.56	15.35
FeO	12.25	11.34	10.22	4.24	10.52
MnO	0.16	0.15	0.16	0.16	0.12
MgO	10.17	7.09	3.92	1.62	6.18
CaO	9.48	8.36	6.46	2.50	9.37
Na ₂ O	2.75	2.72	3.31	6.22	2.35
K ₂ O	1.21	1.45	2.30	3.47	0.70
P ₂ O ₅	0.60	0.89	0.78	0.23	0.22
Сумма	100.6	100.2	99.6	98.7	99.2
Rb	19	30	41	64	12
Ba	210	355	461	557	102
Sr	590	815	629	839	390
La	36	47	59	72	15
Ce	75	101	121	133	32
Nd	44	51	56	54	19
Sm	9.76	11.35	11.66	9.49	4.75
Eu	3.02	3.39	3.41	2.72	1.54
Tb	1.33	1.54	1.62	0.97	0.77
Yb	2.46	1.84	2.48	0.68	1.32
Y	35	35	38	12	22
Zr	347	378	558	543	128
Nb	52.07	54.61	68.99	114.2	25.04
Hf	8.00	9.17	12.34	13.92	3.21
Th	3.92	5.74	8.66	16.66	3.09
U	1.12	1.39	2.32	6.36	1.16
Ta	3.02	2.54	3.39	7.21	1.19
Cr	140.5	275.7	95.03	24.71	351.8
Ni	184.7	183.5	62.55	12.51	185.8
Pb	2.34	3.33	5.21	8.22	2.06
Ce/Pb	32	30	23	16	15
Th/U	3.5	4.1	3.7	2.6	2.7

Примечание. 1, 2 – щелочной базальт (обр.П-2, П-1), 3, 4 – трахиандезит, трахит (обр.П-3, П-5); 5 – габбронорит (обр.П-6). Все железо определено в виде FeO. Содержания главных элементов определены методом XRF (рентгенофлуоресцентный анализ) в ГЕОХИ РАН И.А. Рошиной. Содержания редких элементов определены методом ICP-MS (анализ масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой) в ИГЕМ РАН Д.З. Журавлевым.

[14] предположили, что образование вулкана началось примерно 10–20 млн лет назад.

Пытаясь представить динамику развития этой области Западной Антарктики, мы должны сопоставить о. Петра I с лежащими к северу от него подводными горами Жерлаша и находящейся на Земле Элсуорта горой Джонса.

Для характеристики геодинамической обстановки формирования вулкана о. Петра I показательно соотношение Th/Yb и Ta/Yb в базальтах этого острова по сравнению базальтами гор Джонса и подводных гор Жерлаша (рис.9). Точки состава вулка-

нитов о. Петра I ранней формации (андезит, трахиандезит–риодацит) лежат в поле активных континентальных окраин андийского типа. Характерно для них умеренное содержание тория и тантала. Источник лавы был обогащен литофильными элементами и подвержен влиянию газово-жидких флюидов. Точки состава поздних оливиновых базальтов острова лежат уже в поле внутриплитовых базальтов (ВПБ), имеющих обогащенный мантийный источник, при свойственных им высоких содержаниях тория и тантала, связанных с существенным мантийным прогревом.

Преобладающее количество расплавов лав острова обладает высокими отношениями ²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb и ²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb и низкими отношениями ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr, не характерными для базальтов океанических островов (рис.10). Харт [9] считает, что подобные характеристики отражают состав мантийного воздымания (“плюма”), хотя и могли возникнуть благодаря контаминации магмы морскими осадками. Однако в

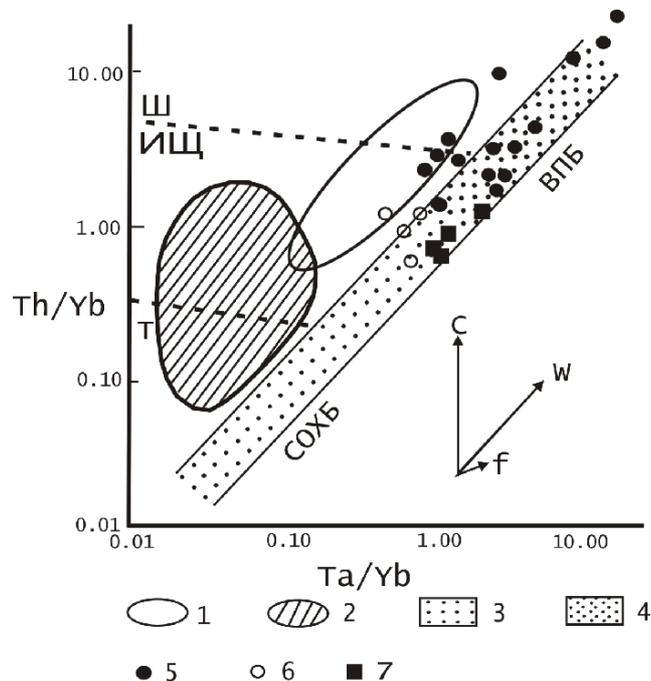


Рис. 9. Диаграмма соотношения Th/Yb и Ta/Yb в базальтах о.Петра I, подводных гор Жерлаша и гор Джонса, Земля Элсуорта.

1 – активные континентальные окраины, 2 – островные дуги, 3 – истощенный мантийный источник, 4 – обогащенный мантийный источник, 5–7 – базальты о.Петра I (5), гор Джонса (6), и гор Жерлаша (7), СОХБ – базальты рифтовых зон срединно-океанических хребтов, истощенная мантия, ВПБ – внутриплитовые базальты, обогащенная мантия. Векторы показывают влияние следующих факторов: (w) – внутриплитного обогащения литофильными элементами, (c) – коррозийной контаминации и (f) – фракционной кристаллизации. Пунктирные линии разграничивают поля толеитовых (Т), известково-щелочных (ИЩ) и шшонитовых (Ш) пород.

спектре базальтов острова отсутствуют Ce, Eu, Nb и Ta минимумы, обычно возникающие при контаминации магмы осадками. Поэтому лавы острова Петра 1 с их высокими соотношениями Ce/Pb представляются нам близкими по составу к обогащенной магме воздымания (плюма), связанной с субконтинентальной мантией. Соотношения изотопных составов Pb и Sr свидетельствуют о длительном развитии источника лавы. Базальты острова значительно обогащены всеми литофильными элементами и радиогенными изотопами по сравнению с областью Земли Элсуорта. На диаграммах $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} - K_{\text{Pb}}$ и $\text{Nd} - K_{\text{Pb}}$ эти различия проявляются очень четко (рис.10). Параметр $K_{\text{Pb}} = (\text{Th}/\text{U})_{\text{Pb}}$ рассчитан по изотопному составу Pb и соответствует торий-урановому соотношению в

первичном источнике магмы [2]. Величина $K_{\text{Pb}} = 3,95 \pm 0,05$ является переходной между изотопными составами обедненного и обогащенного резервуаров. Фигуративные точки на диаграммах (рис.10) образуют четкий прямолинейный тренд, начинающийся с составов базальтов рифтогенных срединно-океанических хребтов и заканчивающийся континентальными базальтами. На этом тренде базальты о. Петра 1 попадают в обогащенную область вблизи базальтов континентального плато Колорадо. При этом они образуют собственные тренды, секущие основной, что может отражать процесс флюидного воздействия на источник в переходной зоне океан-континент. Направление трендов от континентальных к океаническим базальтам (рис.10) определено по точкам их составов [9]. На рис.10б базальты о. Петра 1 образуют собственный тренд (по Nd), секущий основной, что, вероятно, отражает флюидное воздействие на источник при внедрении плюма в переходной зоне океан-континент, в крупном разломе Петра 1, продолжающегося вглубь континентальной окраины Западной Антарктиды.

Базальты гор Жерлаша [7, 8] по составу основных и рассеянных элементов, по недонасыщенности SiO_2 и обогащенности такими элементами, как Ti, P, Nb и Zr, являются щелочными. Низкая магнезиальность, низкие содержания Ni и Cr, а также низкие отношения NFSE/Nb и LILE/NFSE , свойственные фазам фракционирования мантии при малой степени частичного плавления, делают их сопоставимыми со щелочными базальтами континентальной окраины Западной Антарктиды (горы Джонса, Земля Элсуорта) и о. Петра 1. Три из четырех полученных образцов имеют очень низкую концентрацию K, Rb и Cs и сравнимы с базальтами океанических островов. Однако K, Rb и Cs являются растворимыми элементами, и их низкое содержание может быть вызвано воздействием морской воды уже после излияния базальта. С другой стороны, низкое содержание K и других элементов может быть объяснено также выплавлением из мантийного материала 1,1% амфибола.

Тренды базальтов гор Джонса, Земля Элсуорта, на диаграммах (рис. 9, 10) располагаются между областью базальтов рифтогенных срединно-океанических хребтов и линией перехода между обогащенным и обедненным резервуарами магм. Можно предполагать, что эти базальты образовались, скорее, из обедненного океанического источника в зоне его контакта с континентальным, испытав его влияние, ибо на границе такого соприкосновения обычно образуются смешанные магмы с переходными изотопными и геохимическими составами. В свете этого можно предположить, что вулканизм гор Джонса отвечает начальной стадии внедрения мантийного океанического плюма на месте задуговой впадины, отделявшей не-

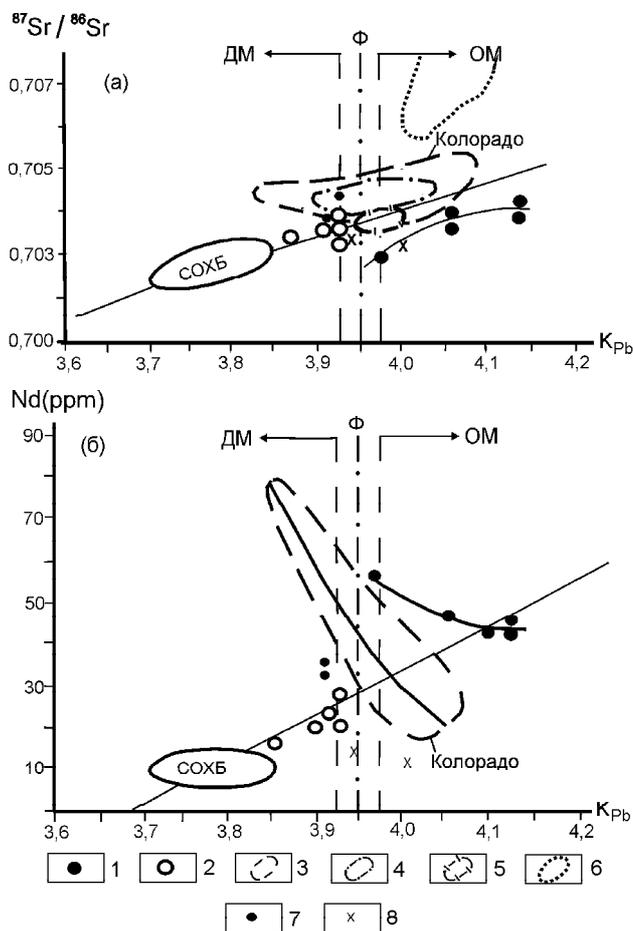


Рис. 10. Диаграммы $^{86}\text{Sr}/^{87}\text{Sr} - \text{параметр } K_{\text{Pb}}$ (а) и $\text{Nd} - K_{\text{Pb}}$ (б) для вулканических пород о. Петра 1 и других объектов.

1 – базальты о. Петра 1; 2 – базальты гор Джонса; 3–6 – вулканы плато Колорадо (3), Северного Эквадорского (4), Южного, Чилийского (5) и Центрального (6) сегментов Анд; 7, 8 – вулканические стекла о.Петра 1 (7) и подводной горы Висков, рифт пролива Брансфилд (8). ДМ – деплетированная океаническая и ОМ – обогащенная континентальная мантия, Ф – переходная зона между ДМ и ОМ, $K_{\text{Pb}} = (\text{Th}/\text{U})_{\text{Pb}}$.

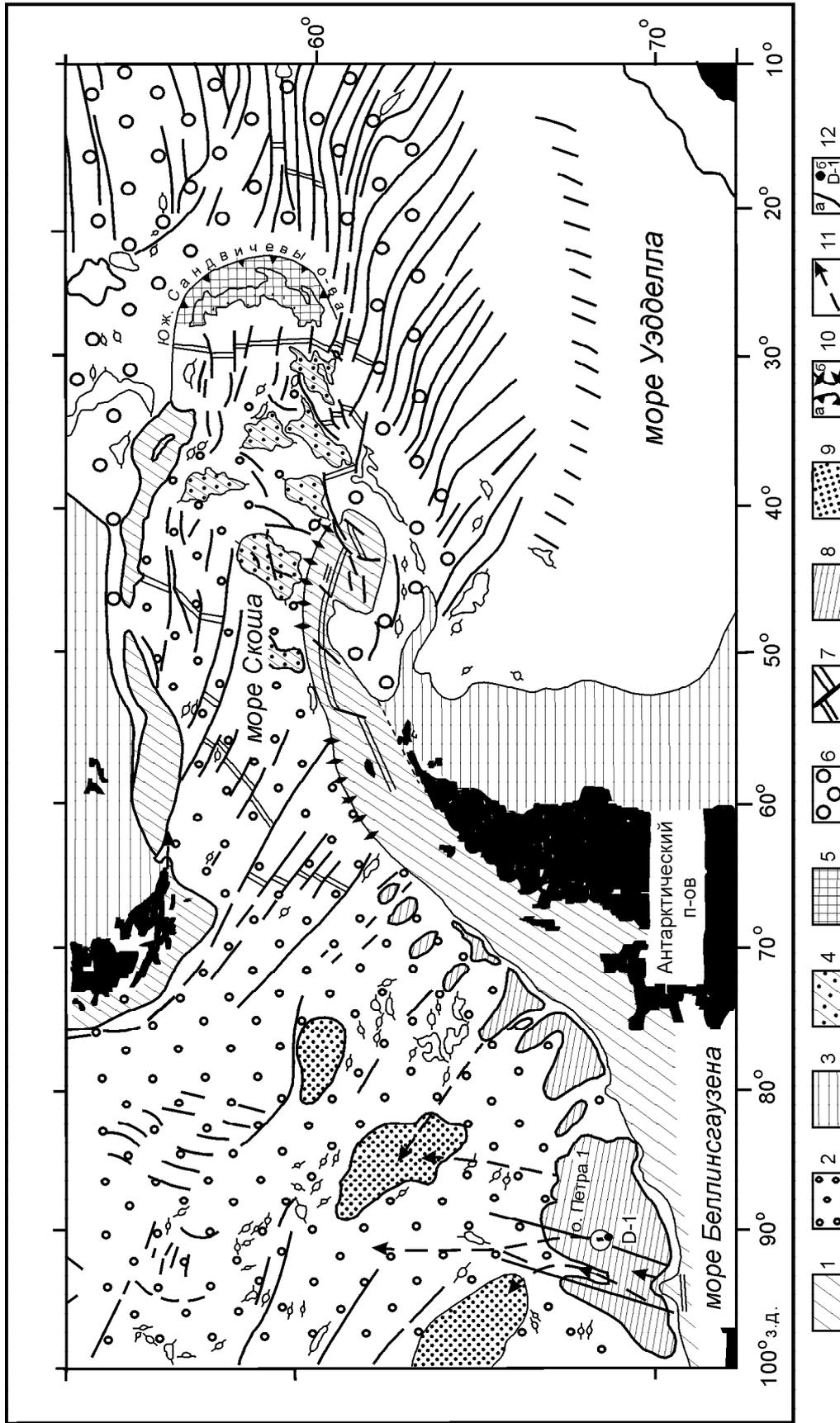


Рис.11. Тектоническая схема дна океана, Западная Антарктика.

1, 2 – Андийско-Антарктический мезозойский складчатый пояс; 1 – континентальная часть и её подводная окраина; 2 – деструктивная и погруженная часть пояса, талассоген; 3, 4 – древний Американско-Антарктический межконтинентальный мост; 3 – древние докембрийские платформы континентов и их подводные окраины, 4 – реликты деструктированных древних докембрийских платформ; 5 – Южно-Сандвичева вулканическая островная дуга, эмбриональная фаза эвгеосинклинали; 6 – талассогены моря Уэдделла и Южной Атлантики; 7 – рифты (рифтогены); 8 – рифты (рифтогены); 8 – рифты (рифтогены); 9 – абиссальные аккумулятивные равнины; 10 – глубоководные желоба: а – эвгеосинклинали Южно-Сандвичев желоб, б – Южно-Шетландский и Южно-Оркнейский желоба-грабены; 11 – русла суспензионных потоков, 12 – разломы (а) и место драгировки (D-1 – драга 1) (б).

когда дугу Андийского пояса Западной Антарктиды от континента Восточной Антарктиды.

ВЫВОДЫ

В литературе по геологии Западной Антарктики доминируют представления о формировании структуры континентальных окраин морей Беллинсгаузена и Амундсена в процессе субдукции океанических литосферных плит под континентальную плиту Западной Антарктиды. Полученные нами данные позволяют высказать альтернативное предположение о том, что развитие этих континентальных окраин определялось процессом деструкции в условиях региональных растяжений и мантийного вздымания. При этом о. Петра I и горы Жерлаша формировались на реликтовом, прогрессивно погружавшемся континентальном фундаменте. Таковым могла быть кора складчатой системы мезозойско-кайнозойского Андийского пояса, предположительно продолжавшегося на месте южной части морей Беллинсгаузена и Амундсена, образуя северную окраину Западной Антарктиды. Именно так это было, в свое время, показано на тектонической карте Тихоокеанского сегмента Земли [1]. Погружение завершилось образованием талассогена, ложа океанических котловин морей Беллинсгаузена и Амундсена.

Данные сейсмического зондирования показывают присутствие в составе верхней части разреза коры ложа морей Беллинсгаузена и Амундсена слоя со скоростями волн порядка 4,5–5,6 км/сек [10]. Слой со скоростями 4,5–5,6 км/сек отмечается также в разрезе заведомо континентальной коры Фолклендского плато. Там он интерпретируется как утоненный слой гранитно-метаморфического комплекса коры континентального типа. Очевидно, также можно интерпретировать его и здесь, добавляя вероятное перекрытие этого комплекса в процессе талассогенеза, океанизации, лавовыми полями. Морфология кровли этого слоя, по данным сейсмического профилирования, не ассоциируется с морфоструктурой рифтогенов и, скорее, сходна с морфологией базальтовых полей.

Испытав деструкцию и погружение на океанские глубины, эта часть Андийского пояса приобрела в процессе океанизации, талассогенеза, геофизические параметры, считающиеся характерными для коры океанского типа. Наблюдаемые разломы континентального склона и океанических котловин, талассогенов, представляются нам не границами литосферных плит, а трещинами растяжения былой окраины континентального массива Западной Антарктиды. Вулканиды гор Жерлаша и о.Петра в своем составе отражают влияние мантийного вещества континентального типа. Деструкция континентальных окраин сопровождалась миграцией границы

океан–континент на юг от её бывшего положения, к нынешнему основанию континентального склона Западной Антарктиды (рис.11). К/Аг возраст базальтов гор Жерлаша – 20–23 млн лет (миоцен) [R. Gersonde, R.Hagedorn, K. Gohl, персональное сообщение], что вдвое больше возраста (10–12 млн лет) древних базальтов о. Петра I. Если предполагать, что этот остров и те горы формировались на прогрессивно погружавшемся континентальном основании, отражая тектоно-магматическую активность на деструктируемой окраине континента, сопровождавшую отступление континентальной окраины, то различие в возрасте базальтов отражает миграцию границы океан–континент в южном направлении с миоцена до наших дней.

Такая интерпретация динамики развития окраины Западной Антарктики, опирающаяся на геоморфологические данные и результаты сборов каменного материала, представляется нам заслуживающей внимания. Она отличается от принятой большинством авторов, использующих реконструкцию литосферных плит. Они опираются, в основном, на геохронологическую интерпретацию фрагментов линейных аномалий магнитного поля, предположительно созданных в несуществующих ныне рифтовых зонах и относящихся к реликтам рифтогенных плит, значительная часть которых также предполагается исчезнувшей в процессе субдукции под континентальную плиту Западной Антарктиды. К сожалению, оба варианта динамической интерпретации не могут в необходимой степени опираться на результаты глубоководного бурения, ибо скважины в этой области океана, как правило, не достигали фундамента. Поэтому оба варианта интерпретации могут быть предметом дискуссии как альтернативные и правомерные при современном уровне знаний.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пушаровский Ю.М., Удинцев Г.Б. (ред.) Тектоническая карта Тихоокеанского сегмента Земли. М.: ГУГК СССР, 1970.
2. Титаева Н.А. Геохимическая индикаторная роль изотопных значений торий-урановых отношений в вулканических породах // Докл. АН. 1990. Т.312, № 6. С.1454–1457.
3. Удинцев Г.Б., Г.В.Шенке, Т.Шёне и др. Новые данные о строении дна моря Беллинсгаузена, Западная Антарктика // Докл. АН. 1999. Т.367, № 6. С.824–828.
4. Фролова Т.И., Бурикова И.А. Магматические формации современных геотектонических обстановок. М.: Изд-во МГУ, 1997. 320 с.
5. Anderson J.B. Antarctic Marine Geology. Cambridge University Press, 1999. 289 p.
6. Bastien T.W., Lehman E.K., Craddock C. The Geology of Peter I island // Init. Rep. DSDP. 1976. V.35. P.341–357. Washington, DC.
7. Gohl K., Nitsche F., Miller H. Seismic and gravity data

- reveal Tertiary interplate subduction in the Bellingshausen Sea, southeast Pacific // *Geology*. 1997. V.25, N.4. P.371–374.
8. Hagen R.A., Gohl K., Gersonde R. et al. A geophysical survey of the De Gerlache Seamounts: preliminary results // *Geo-Marine Letters*. 1998. V.18. P.19–25.
 9. Hart, S.R., Bluzstain J., Craddock C. Cenozoic volcanism in Antarctica: Jones Mountains and Peter I Island // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1995. V.59, N 16. P.3379–3388.
 10. Hayes D.E. (editor) A marine geophysical atlas of the Circum-Antarctic to 30°S // *Am.Geophys.Union*. 1991.
 11. IHO / IOC / CHS. GEBCO – General Bathymetric Chart of the Oceans (5th Edition). Ottawa, 1984. Sh. 5.15, 5.16, 5.18.
 12. Nitsche F.O., Cunningham A.P., Larter R.D., Gohl K. Geometry and development of glacial continental margin depositional systems in the Bellingshausen Sea // *Marine Geology*. 2000. V.162. P.277–302.
 13. Norsk Polarinstitut, Peter I Oy, Topographic Map, scale 1:50.000. Oslo, 1988.
 14. Prestvik T., Barnes C.G., Sundvoll B., Duncan R.A. Petrology of Peter I Oy (Peter I Island) // *J. Volcanol. Geothermal Res.* 1990. 44. P.315–338.
 15. Prestvik T., Duncan R.A. . The geology and age of Peter I Oy, Antarctica // *Polar.Research*. 1991. 9. P.89–98.
 16. Sandwell D.T., Smith, W.H.F. Marine gravity anomaly from Geosat and ERS 1 satellite altimetry // *J. Geophys. Res.* 1997. V.102, N 5. P.10 039–10 054.
 17. Smith W.H.F., Sandwell D.T. Global Sea Floor Topography from Satellite Altimetry and Ship Depth Soundings // *Science*. 1997. V.277, N 5334. P.1956–1962.

Поступила в редакцию 8 апреля 2002 г.

Рекомендована к печати Р.Г. Кулиничем

G.B. Udintsev, R. Gerzonde, D.Ye. Teterin, G.V. Shenke, A.F. Beresnev, K. Gol, N.A. Titaeva, A.N. Fenogenov, N.A. Kurentsova, I.A. Roshchina

The geology of Pyotr I Island, and the probable dynamics of development of the West Antarctic in the Bellingshausen Sea

The oceanic crust in the West Antarctic – Bellingshausen and Amundsen Seas, is characterized by numerous fracture zones and seamounts. The origin and nature of these structures are still unclear. The morphology, deep structure and petrology of the basement rocks are the key to an understanding of the geodynamics of the West Antarctic. The effect of the morphostructure of the basement on the transport of sediments supplied from the West Antarctic is enormous. The relationship between the fracture zones, volcanic seamounts and islands, and the sediment transportation by suspension flows were the subject of joint Russian-German investigations in 1998-2001. The data obtained suggest a destructive development of continental margins of the Bellingshausen and Amundsen Seas as an alternative to ideas about their development in the process of subduction of oceanic plates under continent.