

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Маркова Светлана Александровна

Выпускная квалификационная работа

Строение и история развития осадочного чехла бассейна Пауэлл,  
Западная Антарктика

Направление СВ.5091.2015

Основная образовательная программа бакалавриата «Геофизика и геохимия»

Профиль «Геофизика» (15.Б19-НЗ)

Научный руководитель:  
Д.геол.-мин.н., проф. Лейченков Г.Л.

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2019

Рецензент:  
Геолог 1 категории, Лунев П.И.

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2019

Санкт-Петербург  
2019

## АННОТАЦИЯ

Бассейн Пауэлл является задуговым осадочным бассейном, расположенным в северо-западной части моря Уэдделла. Он был образован в позднем палеогене, в результате перемещения Южно-Оркнейского микроконтинента на восток от юго-восточной оконечности Антарктического полуострова.

С целью проведения сейсмофациального анализа осадочного чехла бассейна Пауэлл и реконструкции условий седиментации, было откоррелировано 20 сейсмических профилей МОГТ. Профили были получены в разное время экспедициями нескольких стран, и на сегодняшний день находятся в свободном доступе на сайте Библиотеки сейсмических данных по Антарктике.

Основываясь на полученных данных и литературных источниках, в пределах осадочного чехла бассейна было выделено шесть структурных комплексов, отличающихся по характеру сейсмической записи и масштабу проявления, а так же семь границ региональных несогласий. В последовательности комплексов были выявлены основные сейсмические фации и построена схема их распространения.

Полученная, в ходе данной работы, сеймостратиграфическая интерпретация позволяет сделать важные выводы об обстановках седиментации в геологическом прошлом, и о некоторых факторах ее эволюции – развитии донных течений, деятельности и энергии флювиальных систем, динамики ледникового покрова.

Ключевые слова: Западная Антарктика, бассейн Пауэлл, сейсмофациальный анализ, осадочный чехол.

## СОДЕРЖАНИЕ

|   |    |
|---|----|
| Аннотация .....   | 2  |
| Введение.....   | 4  |
| 1. Физико-географический очерк .....  | 6  |
| 2. История геофизических исследований и геологическая характеристика региона..... | 10 |
| 3. Глубоководное осадконакопление.....  | 19 |
| 3.1 Факторы, контролирующие процессы седиментации ....                            | 20 |
| 3.1.1 Климат.....   | 20 |
| 3.1.2 Изменения уровня Мирового океана.....                                       | 22 |
| 3.1.3 Тектоника и батиметрия морского дна.....                                    | 22 |
| 3.1.4 Активность циркуляционных водных масс.....                                  | 22 |
| 3.2 Осадочные фации.....  | 24 |
| 3.2.1 Покрывающие контуриты.....  | 26 |
| 3.2.2 Ограниченные контуриты.....   | 27 |
| 3.2.3 Дрифты, связанные с подводными каналами.....                                | 27 |
| 3.2.4 Вытянутые холмообразные дрифты.....   | 28 |
| 3.2.5 Смешанные системы дрифтов.....  | 29 |
| 4. Сейсмостратиграфия осадочного чехла бассейна Пауэлл..                          | 31 |
| 5. История развития осадочного чехла бассейна Пауэлл .....                        | 40 |
| Заключение .....  | 46 |
| Список литературы.....  | 47 |

## ВВЕДЕНИЕ

Представление о геологическом строении земной коры и седиментационного чехла в Атлантическом секторе Южного океана, который включает в себя осадочный бассейн Пауэлл, является особенно важным, т.к. структуры данной области обусловлены историей образования океанического пролива между Южной Америкой и Западной Антарктикой, который повлиял на формирование Циркумполярного Антарктического течения, похолодание климата Земли и образование ледникового покрова в Антарктике около 34 млн лет назад. Развитие ледникового покрова отражено в строении седиментационного чехла побережья акватории Южного океана.

Таким образом, изучение вышеуказанной области определяет развитие научных представлений об обстановках осадконакопления в период оледенения Антарктиды и эволюции водной циркуляции Южного океана.

Целью данной работы является сейсмофациальный анализ осадочного чехла бассейна Пауэлл и реконструкция условий осадконакопления.

К основным задачам работы относятся:

1. Выделение и пространственная корреляция региональных сейсмических горизонтов и комплексов, обоснование их возрастов;
2. Выполнение сейсмофациального анализа осадочного чехла, выделение сейсмических фаций, и определение их природы;
3. Интерпретация данных и реконструкция обстановок осадконакопления в разные периоды позднего кайнозоя

Фактическую основу выполненной работы составили объединенные массивы геолого-геофизических данных, полученных в ходе зарубежных и отечественных экспедиций, проводимых начиная с 60-х годов прошлого века:

- Данные сейсмических исследований МОГТ Мурманской арктической геологоразведочной экспедиции (МАГЭ) 1990 г.
- Сейсмические данные Полярной морской геологоразведочной Экспедиции (ПМГРЭ) в 2018 г.
- Данные экспедиций Великобритании (1985, 1988 гг.); Италии (1991, 1995 гг.); Японии (1988 г.).

Геофизические исследования, помимо сейсморазведки, включали в себя набортные магнитные и гравитационные наблюдения. Сейсмические разрезы МОГТ доступны для изучения и находятся в международной Библиотеке сейсмических данных по Антарктике в суммированном виде и цифровом формате.

Несмотря на большой объем геофизических исследований разных лет в данном регионе, вопросы строения и эволюции осадочного чехла и бассейна в целом остаются не до конца решенными. Отчасти это обусловлено тем, что в составе различных экспедиций изучались отдельные, небольшие по площади участки бассейна Пауэлл, а интерпретации единых данных и составления полноценной модели развития осадочного бассейна не проводилось. Фрагментарность исследований осложняет проведение обобщающих работ, в особенности разной разрешающей способностью, которую имела используемая аппаратура. Это затрудняет корреляцию данных, полученных в разное время. Негативным фактом является и отсутствие в бассейне Пауэлл данных бурения, а соответственно и точной информации о вещественном составе и возрасте слагающих его стратифицированных отложений. Последнее, так же усложняет выявление соотношений между мощностями и характерными фациями горизонтов бассейна Пауэлл и акваторий: бассейна Джейн, моря Скоша и моря Уэдделла.

В данной работе представлена общая характеристика фациальных структур и строения осадочного чехла бассейна Пауэлл, а так же сформулирована модель его геологического развития, основанная на всех имеющихся в рассматриваемом регионе доступных геолого-геофизических данных.

## 1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ ОЧЕРК

Комплекс морских геофизических исследований проводился в бассейне Пауэлл, который является подводным задуговым осадочным бассейном, расположенным в координатах  $62^{\circ}15'$  ю.ш.  $49^{\circ}30'$  з.д. Данный район исследований находится в пределах Антарктики, северо-западной части моря Уэдделла. Осадочный бассейн ограничен Южно-Оркнейским микроконтинентом на востоке и континентальной окраиной северо-восточной оконечности Антарктического полуострова на западе. В южной и северной частях, естественными границам бассейна Пауэлл служат: осадочный бассейн Джейн и Южный хребет Скоша соответственно. Вытянутый с северо-востока на юго-запад бассейн имеет протяженность 250 км в длину и 200 км в ширину (Рис.1).

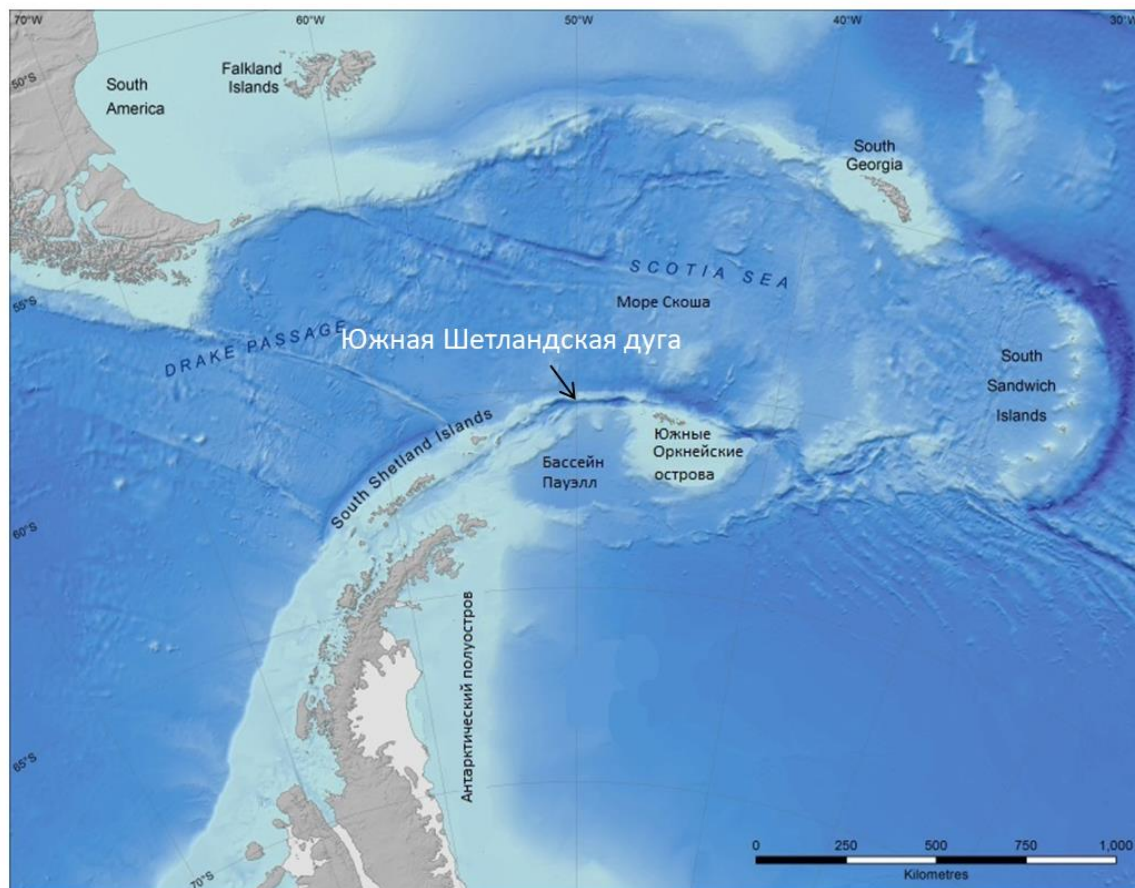


Рисунок 1. Обзорная карта района морских геофизических работ

В береговой зоне моря Уэдделла расположено несколько рабочих научных станций: “Бельтрано 2” (Аргентина), сезонные станции “Васа” (Швеция) и “Абоа” (Финляндия), “Халли” (Великобритания). Ближайшими научными станциями являются английская станция “Сайни-Айленд” ( $60^{\circ}43'$  ю.ш.;  $45^{\circ}36'$  з.д.) и аргентинская станция

“Оркадас” ( $60^{\circ}45'$  ю.ш.;  $44^{\circ}43'$  з.д.), в бухте которой есть возможность совершить якорную стоянку и укрыться от шторма. В юго-восточной части Южной Америки располагаются ближайшие пункты бункеровки и логистического обеспечения: порты Аргентины (Мар-дель-Плата) и Уругвая (Монтевидео) (Лунев, 2018).

Глубины северо-западной части окраинного моря Уэдделла, включающей осадочный бассейн Пауэлл, на шельфе преимущественно достигают 500 м, на континентальном склоне 1000-2000 м и в глубоководной части акватории до 2000-3500 м.

Береговую линию в основном составляют отвесные обрывы шельфовых ледников, которые представляют собой массивы льда, достигающие нескольких сотен метров в ширину. Для шельфа характерен расчлененный рельеф, включая ледниковый, специфические формы которого обусловлены изостатическим пригибанием земной коры под тяжестью ледникового покрова и его аккумулятивной деятельностью. Наибольшие глубины шельфа характерны для внутренних его областей и приурочены к депрессиям морского дна. Угол наклона континентального склона варьирует по линии падения склона и по латерали. Сверху вниз, он изменяется от крутой (до  $15^{\circ}$ ), слаборасчлененной поверхности, до пологопадающей области, постепенно переходящей в подножие континентального склона. Данные морфологические структуры пересекает сеть подводных каньонов, расположенных перпендикулярно континентальной окраине.

Изменения температур и условий видимости в море Уэдделла происходит под действием ветров, а так же вследствие разной сплоченности дрейфующего льда. В результате деятельности северных ветров увеличивается температура воздуха, что приводит к плохим погодным условиям в виде плотной облачности и выпадения осадков: от снега до мелкого дождя. В целом, до 15 дней в месяце могут характеризоваться выпадением осадков всех видов. Деятельность южных ветров напротив, улучшает видимость благодаря падению температуры в районе моря и становлению безоблачной погоды. Важную роль играют и атмосферные циклоны, приводящие к стремительному ухудшению погодных условий для судна, проходящего в его центре: резкое усиление ветра до 15 м/с и волнение моря до 6 баллов. Для летнего периода характерны температуры воздуха от 0 до  $10^{\circ}\text{C}$  и прогрев поверхностного слоя воды до  $+1^{\circ}\text{C}$ , в то время как зимой температура воды может снижаться до  $-2^{\circ}\text{C}$ , что приводит к застыванию практически всего морского пространства. С февраля по март для данной области типичны снежные бури. С января по март, среднее волнение моря составляет 2-4 балла с продолжительностью до 20 дней в месяце, в штормовые

дни волнение достигает 8 баллов и длится до 10-15 дней в месяце, при этом скорость ветра может достигать до 30 м/с.

На протяжении почти всего года, рассматриваемая область покрыта множеством дрейфующих айсбергов разнообразных форм и плавучих льдов (высотой около 2 м), встречающихся между 55 и 61 параллелями южной широты. Айсберги откалываются на краях ледового покрова и движутся под действием поверхностных течений, постепенно разрушаясь со временем. Ледовые условия определяются и шириной антарктического ледового пояса. Северный предел распространения льда, западной части моря Уэдделла, изменяет свое положение в зависимости от времени года: находится на параллели  $60^{\circ}$  южной широты в начале лета и сдвигается до  $63^{\circ}$  южной широты к концу зимы. При этом, в результате благоприятных погодных условий в течение летнего периода, граница может смещаться к югу от вышеуказанной оконечности более чем на 300 миль. В тоже время, под влиянием сильных и продолжительных штормов лед может перемещаться далее на север, минуя свои средние границы районов распространения (Лунев, 2018).

По отношению к остальным морям Антарктики, море Уэдделла, включающее бассейн Пауэлл, занимает первое место по параметрам солености и плотности, однако, вследствие постоянного таяния ледников, значение солености гораздо ниже, в сравнении с остальным Мировым океаном.

Для Южного океана характерен специфический режим водной циркуляции, связанный в основном с особенностями климата и отсутствием региональных, меридионально направленных препятствий. Южнее  $66^{\circ}$  ю.ш. развиты прибрежные течения, обеспечивающие формирование и конвекцию придонных водных масс. Их скорость в придонных слоях достигает 7 см/с и может увеличиваться на крутых участках дна. В пределах моря Уэдделла находится мощное циклоническое течение – круговорот Уэдделла (Рис.2). Его движение направлено по часовой стрелке, что обусловлено воздействием восточных ветров. Данное течение возникает вследствие основной составляющей циркуляции Южного океана и самого мощного в мире движения водных масс (расход воды 125 млн  $\text{м}^3/\text{с}$ ), которое называется Антарктическим Циркумполярным течением. Оно представляет собой крупномасштабный поток вокруг Антарктики, расположенный в пределах  $40^{\circ}$ -  $50^{\circ}$  ю.ш. Это движение, под действием западных ветров, направленное с запада на восток, имеет ширину около тысячи километров и протяженность 30 тысяч километров. Антарктическое циркумполярное течение контролирует перенос тепла, соли и питательных веществ вокруг Южного океана. Помимо указанных течений, большое



влияние имеют донные водные потоки Антарктики, которые образуются на шельфе и материковом склоне, вследствие изменения физических свойств воды: за счет ее охлаждения и увеличения солености. Западная часть моря Уэдделла является одной из основных областей формирования донных вод. Таким образом, в верхней части континентального склона происходит смешивание холодных шельфовых масс с более теплыми и солеными глубинными водами, и получившийся поток движется дальше вниз, в глубоководные области.

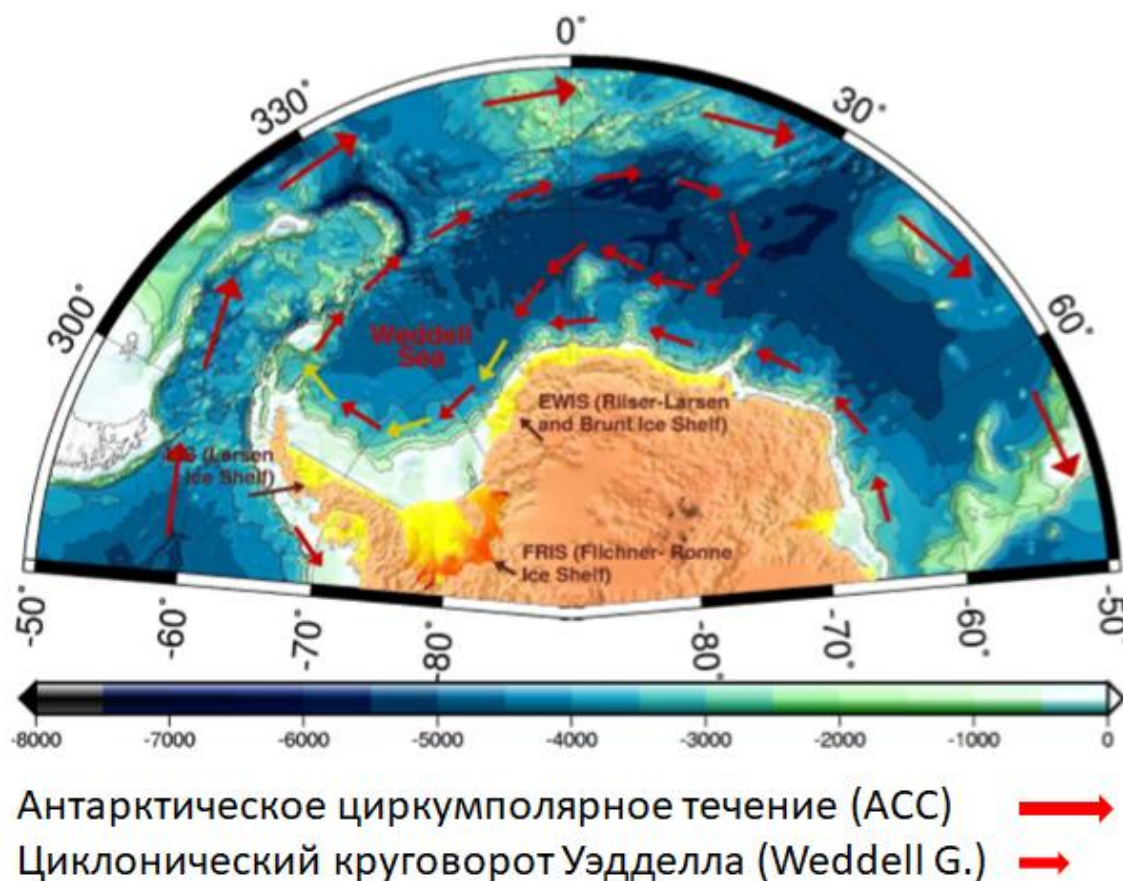


Рисунок 2. Антарктическое циркумполярное течение и круговорот Уэдделла (Thoma *et al.*, 2006)

Кроме того, в результате подъема к поверхности глубинных вод – процессу апвеллинга - в акватории моря развивается явление “Флеш-фриз”. Данное явление является достаточно опасным, так как вследствие него стремительно замерзающая вода приводит к остановке движения проходящего в данный момент корабля и вынуждает экипаж эвакуироваться, поскольку судно оказывается в ледяной ловушке.

## 2. ИСТОРИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЕГИОНА

Экспедиции России (СССР), Великобритании, Японии, Испании, Италии и др., проводят геолого-геофизические исследования в бассейне Пауэлл с 1965 года. Комплекс геофизических исследований включает морские сейсморазведочные работы МОГТ, которые проводились с использованием различных аппаратурных комплексов, модернизируемых со временем: изменение параметров базы приема и усовершенствование инструментальной обработки получаемых данных. Совместно с сейсмическими наблюдениями, а так же обособлено, выполнялись магнитная и гравиметрическая съемки, в результате которых были получены данные, позволившие выявить морфологические структуры морского дна и подтвердить океаническую природу центральной части фундамента бассейна. Так, аномалии силы тяжести в свободном воздухе хорошо коррелируют с геологическими структурами океанической коры и континентальных окраин, они симметричны оси хребта и имеют северо-западное простираие (Рис.3). И хотя точность магнитных съемок на ранних этапах исследования не отличалась высокими показателями, в первую очередь вследствие больших погрешностей привязки и отсутствия учета магнитных вариаций, они так же внесли существенный вклад в изучение региона бассейна Пауэлл. Немаловажными являются и проекты глубоководного бурения, которые проводились непосредственно не в самом бассейне Пауэлл, а близ него (восточная окраина Южно-Оркнейского микроконтинента, бассейн Джейн) и донного опробования, осуществляемые на различных участках бассейна. Большая часть вышеуказанных материалов находятся в свободном доступе и использовались при комплексной интерпретации данных.

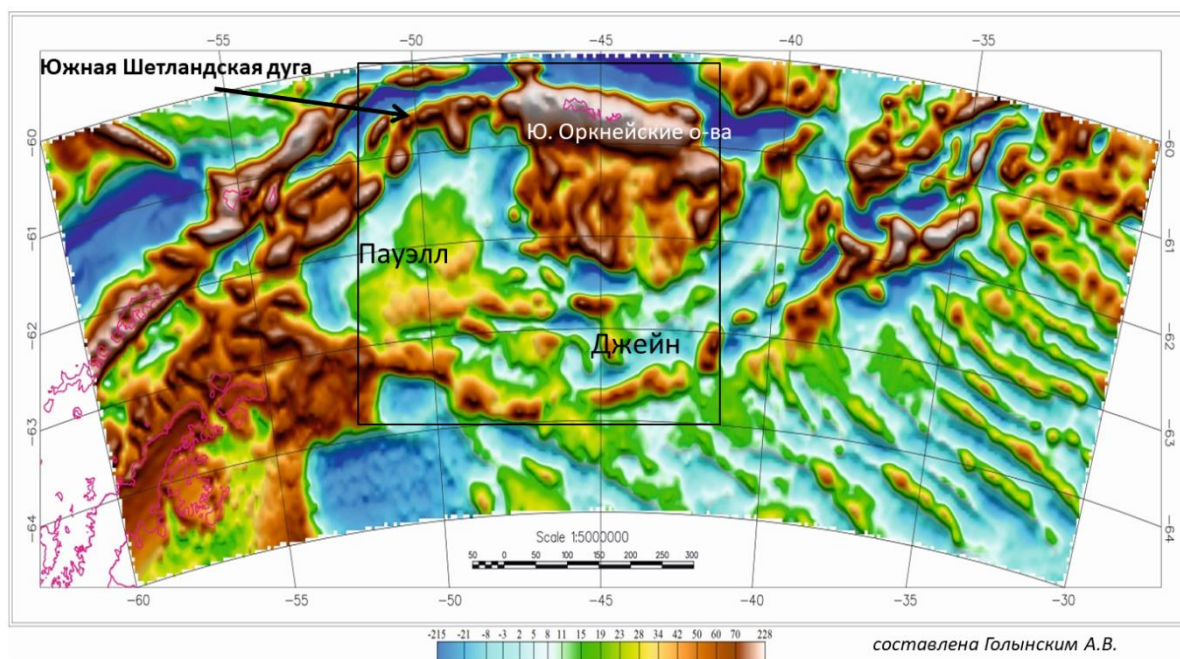


Рисунок 3. Поле силы тяжести (редукция в свободном воздухе) по данным спутниковой альтиметрии

Начало комплексного изучения северо-западной части моря Уэдделла, включающей бассейн Пауэлл, положили работы английских экспедиций. В 1965-1969 гг. Великобританией была проведена экспедиция Геологического отделения университета Бирмингема, в комплекс работ которой входили сейсмические исследования МПВ и гидромагнитные наблюдения. На основании полученных данных, была определена мощность осадочного чехла западной части моря Уэдделла (до 5 км). Данная экспедиция входит в число первых, давших начало комплексному изучению северо-западной части моря Уэдделла, включая Южный хребет Скоша. Университет Бирмингема продолжил исследования в 1970-1981 гг., проводя геофизические работы, общий объем которых составил 3200 км профильных наблюдений, преимущественно сосредоточенных в пределах шельфа Южно-Оркнейского микроконтинента, а так же в северо-западной части моря Уэдделла. В результате нескольких полевых сезонов были установлены основные структурные составляющие земной коры и построена ее модель, проходящая через Южно-Оркнейский микроконтинент. Данные магнитных измерений позволили провести районирование аномального магнитного поля с выделением четырех зон: западной, центральной, восточной и зоны островов (Лунев, 2018).

Обобщив имеющиеся на тот момент геофизические и геологические данные района, Баркер и др., в 1984 г. высказали предположение о том, что Южно-Оркнейский микроконтинент, вследствие рифтинга, отделился от Антарктиды 25-35 млн. лет назад [2].

В 1985 и 1988 гг. исследования в данном районе проводила Британская антарктическая служба (BAS). С борта научно-исследовательского судна "*Discovery*" в двух областях, а именно: в северной части моря Уэдделла и на западной континентальной окраине Антарктического полуострова, были проведены работы МОГТ. Применялась: 96-канальная приемная расстановка длиной 2400 м с общим объемом источников 8,5 л (1985 г.), и 32-канальная расстановка длиной 800 м с общим объемом источников 15,8 л (1988 г.). В результате по полученным данным была построена сейсмостратиграфическая модель шельфовой зоны Антарктического полуострова.

В 1985-1989 гг. была проведена совместная программа США, Аргентины и Чили, направленная на исследование северо-западной части моря Уэдделла и обрамляющих его структур. По 235000 км аэрогравимагнитных маршрутов была составлена тектоническая карта всего района работ, иллюстрирующая крупные осадочные бассейны и зоны сочленения тектонических элементов. Кроме того, была построена первая карта мощностей осадочного чехла для данного региона и карта глубин залегания магнитного фундамента.

В 1987-1988 гг. сейсморазведочные работы на территории пролива Брансфилд и Южных Шетландских островов проводила Бразильская антарктическая экспедиция. Использовалась 72-канальная коса длиной 1800 м и источниками общим объемом 8,8 л. Результатом работ стали подробные данные о структуре верхней части земной коры рифтовой зоны пролива Брансфилд (Лунев, 2018).

В то же время Японская национальная нефтяная корпорация (JNOC) проводила исследования в районе континентального шельфа Южно-Оркнейских островов. Исследования включали комплекс геофизических методов, а именно: профильные сейсмические наблюдения МОГТ, проводимые с 24-канальной приемной расстановкой длиной 600 м и объемом пневмоисточников по 6 л; гравимагнитную съемку и измерение теплового потока. Параллельно проводилось драгирование и отбор проб прямооточными трубками.

В 1987 году, в соответствии с проектом глубоководного бурения ODP, на востоке Южно-Оркнейского микроконтинента были пробурены три скважины с глубинами от 320 до 650 м. В ходе исследований, в скважинах была впервые получена прямая информация о стратиграфических особенностях осадочного чехла и, соответствующих им обстановках осадконакопления в период с эоцена по квартал. Ближайшими к бассейну Пауэлл пунктами бурения CDP являются центральная и северо-восточная части Южно-Оркнейского микроконтинента, в которых вскрыты

эоцен-четвертичные и плиоцен-четвертичные осадки соответственно. В районе Южного хребта Скоша выполнялось донное опробование. В 1987-1988 гг. японской морской экспедицией было отобрано 10 колонок донных осадков длиной 0,5-6,5 м. Данные осадки, относительно литологического состава, представляют собой большей частью глины и биогенные илы раннемиоценового-четвертичного возраста. В образцах кернов, полученных непосредственно в северо-западной части бассейна Пауэлл (точки опробования GC1805 и GC1804), основная масса материала была представлена позднеплейстоценовым комплексом радиолярий. Материал керна GC1804 составляют биотурбированные серые и желтовато-серые илестые глины с несколькими черными прослоями мелкозернистого песка. Материал керна GC1805 представлен серыми илами, серыми и желтовато-серым, а так же темными зеленовато-серыми песчанистыми илами. Кроме того, в материалах из точки опробования GC1805 присутствовали темные коричнево-серые слои мелкозернистого песчаника с планктонными фораминиферами в верхней части разреза. Организмы преимущественно относятся к виду *Neogloboquadrina pachyderma* (Ehrenberg), что определяет возраст отложений данного осадочного материала как плиоценовый и моложе. Биотурбация характерна для верхней, наиболее рыхлой части отложений керна. В ходе рейса английской экспедиции 1980-1981 гг. было проведено шесть станций донного опробования в котловине Пауэлл и на юге Южно-Оркнейской шельфовой зоны. Были установлены щелочные базальты кайнозойского возраста, расположенные в бортах котловины Пауэлл, а так же базальты и андезитобазальты позднемелового возраста на южной окраине Южно-Оркнейского микроконтинента, связанные с восточным продолжением вулканогенного пояса Антарктического полуострова.

В 1990 году в бассейнах Пауэлл и Джейн, а так же на территории Южно-Оркнейского микроконтинента Мурманской арктической геологоразведочной экспедицией, с борта научно-исследовательского судна "Геолог Дмитрий Наливкин", были проведены первые отечественные комплексные геофизические исследования. Сейсморазведочные работы МОГТ проводились с использованием 24-канальной приемной расстановки длиной 2400 м, при этом общая длина профилей составила 3000 км. Кроме того, было получено 4500 км сейсмоакустических данных, которые легли в основу выделения стратиграфически привязанных отражающих горизонтов седиментационного чехла и определения тектонических провинций.

В 1990-1995 гг., итальянской экспериментальной геофизической обсерваторией (OGS) в северной оконечности Антарктического полуострова, были проведены три

экспедиции на научно-исследовательском судне "*Explora*". Сейсморазведочные работы были реализованы при помощи 120-канальной приемной расстановки, длиной 3000 м и общим объемом источников 45 и 80 л (Coren *et al*, 1997). В ходе работ были установлены основные тектонические структуры района бассейнов Пауэлл и Джейн, а так же Южно-Оркнейского микроконтинента, строение земной коры и оценена мощность осадочного чехла.

В 1992 году Полярная морская геологоразведочная экспедиция (ПМГРЭ) провела комплексные геофизические работы, в том числе и сейсмическое профилирование МОГТ, которое было выполнено 32-канальной косой длиной 775 м. Данные исследования дополнили базу геолого-геофизических данных о строении осадочного чехла и тектонических структурах рассматриваемой акватории, ранее полученную Мурманской арктической геологоразведочной экспедицией.

В 1992-1993 гг. испанская экспедиция Андалузского института наук о Земле (IACT), в рейсе «HESANT», провела морские сейсморазведочные работы на территории восточной части Антарктического полуострова и бассейна Пауэлл, с помощью 96-канальной приемной расстановки длиной 1200 м (Лунев, 2018). Сейсмические данные, полученные в этой и нескольких других экспедициях, описанных ранее, в международной Библиотеке не представлены.

Одно из последних исследований в северо-западной части моря Уэдделла было проведено с борта научно-исследовательского судна «Академик Александр Карпинский» в составе 63 Полярной морской геологоразведочной экспедиции (ПМГРЭ) в 2018 году. Стоит отметить, что со времен последних экспедиций техническое оснащение судов претерпело значительные модификации, позволяющие получать данные лучшего качества, а, следовательно, уточнять и дополнять информацию прошлых лет. В морских сейсморазведочных работах использовалась 560-канальная приемная коса длиной 6987,5 м с общим объемом камер пневмоисточников 47 литров (Рис.4). Помимо сейсморазведочных работ методом общей глубиной точки (МОГТ), комплексные исследования включали проведение гравиметрической съемки, дифференциального гидромагнитного и многолучевого эхолотного профилирования. За счет применения современного геофизического оборудования (а именно сейсмической косы с базой приема 6987,5 м, используемой в данной районе впервые) удалось добиться увеличения глубинности и детальности разрезов, а значит более информативных и качественных данных. В результате, после первичной обработки полученных данных были составлены основные структурные схемы района работ:

схема изохрон поверхности акустического фундамента, схема изохрон мощности осадочного чехла и полевая структурно-тектоническая схема района работ.

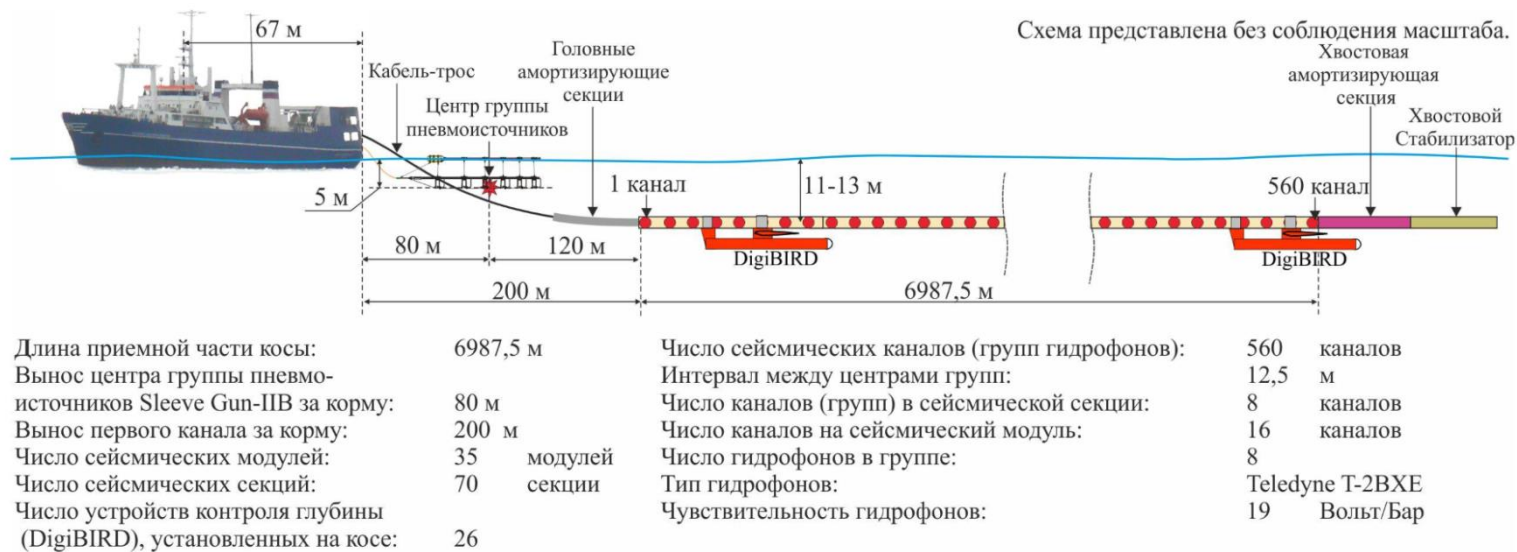


Рисунок 4. Система наблюдений МОВ ОГТ и основные параметры сейсмической косы (Лунев, 2018)

Ниже на рисунке приведены доступные данные морских сейсмических исследований. (Рис.5).



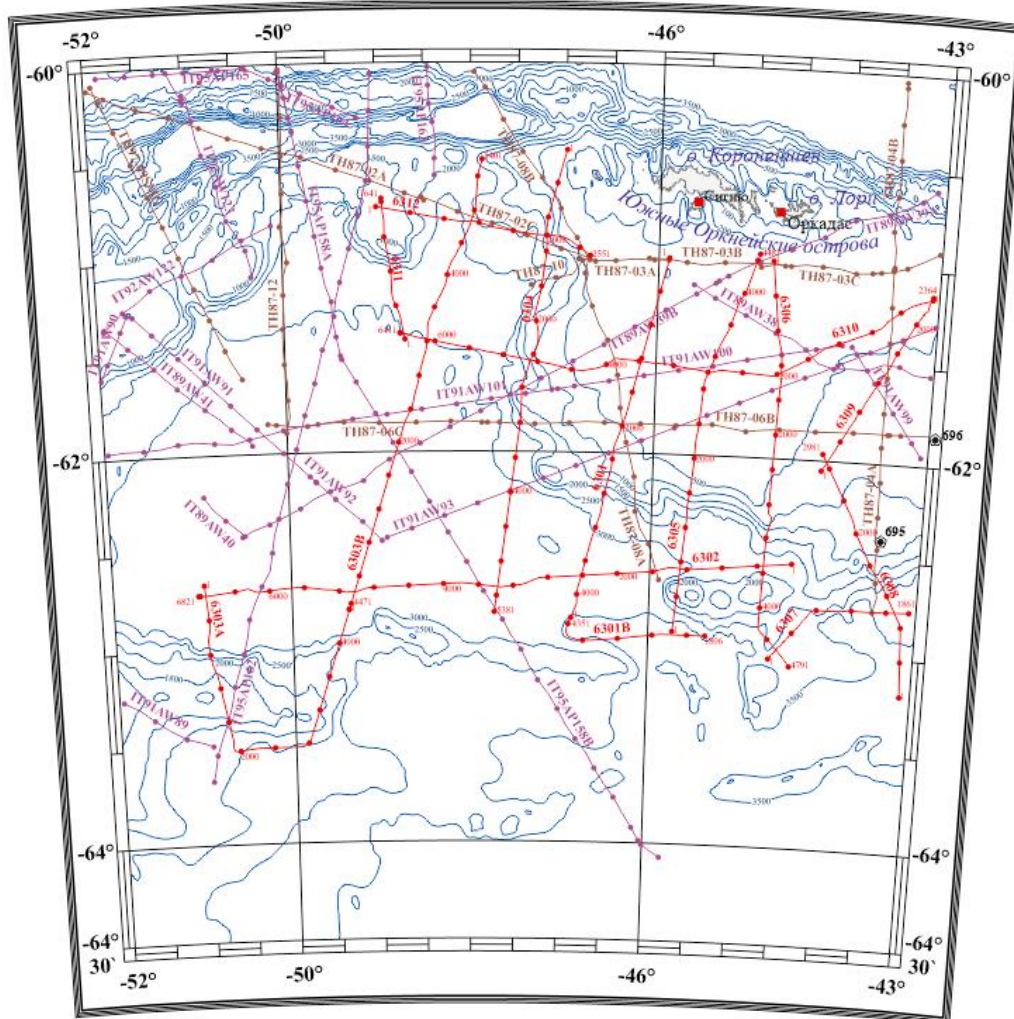


Рисунок 5. Изученность района работ (профили красного цвета -63 РАЭ, розового цвета – Италия, коричневого цвета – Япония)

В ходе вышеописанных работ была получена информация, на основании которой составлялась общая геологическая характеристика развития региона.

Бассейн Пауэлл является небольшим океаническим осадочным бассейном, который сформировался в позднем палеогене-неогене в результате перемещения Южно-Оркнейского микроконтинента, за счет рифтинга, на восток от континентальной окраины Антарктического полуострова. Бассейн расположен в пределах Антарктической плиты, на границе с плитой Скоша.

Раскрытие бассейна Пауэлл являлось частью региональной ответной реакции на относительное движение Южно-Американской плиты на север от Антарктики, которое привело к формированию, на протяжении среднего и позднего палеогена, пролива Дрейка. Геодинамические условия развития осадочного бассейна соответствуют обстановке задугового растяжения, обусловленного конвергенцией, с восточно-направленной субдукцией, Тихоокеанской плиты Феникс и Антарктической



плиты в море Уэдделла в позднем эоцене-миоцене (по щелочным базальтам в южной части котловины бассейна Пауэлл). На основании реконструкций сеточного поля магнитных аномалий, процессы рифтинга в бассейне проходили в интервале 37- 29,7 млн л.н., при этом считается, что был широко распространен вулканизм.

Исходя из моделей магнитных инверсий предполагается, что медленный (16,5-8 км/млн л.) монополярный спрединг морского дна в бассейне Пауэлл происходил между 29,7-21,8 млн л.н., вслед за мезозойским рифтингом и, сопутствующим расколу, вулканизмом (Eagles *et al*, 1999).

В тектоническом отношении, окружающие бассейн Пауэлл структуры относятся к фанерозойской складчатой области. Южно-Шотландский Хребет пролегает севернее, в то время как задуговой бассейн Джейн находится юго-восточнее, за пределами серии поднятий фундамента. Восточные и западные границы бассейна Пауэлл проходят по окраинам Южно-Оркнейского микроконтинента и Антарктического полуострова соответственно, тогда как последний отделен от Южно-Шетландских островов, немного западнее, активной окраиной бассейна пролива Брансфильд. Данные ограничивающие блоки вместе представляют собой Тихоокеанско-направленный, мезозойский дугово-преддуговой комплекс, нарушенный раскрытием бассейна Пауэлл (Eagles *et al*, 1999).

Минимумы гравитационных аномалий в свободном воздухе предполагают под собой сопряженные рифтовые бассейны на окраинах Южно-Оркнейского микроконтинента и Антарктического полуострова, и такая интерпретация подтверждается профилями сейсмических отражений. В пределах бассейна, гравитационный минимум амплитуд в 12 мГл и разлом, имеющий простирание  $30^{\circ}$  СЗ, маркируют палеорифтовую ось, расположенную практически центрально, с небольшой асимметрией в сторону северо-восточного крыла. Данная структура интерпретируется как вымерший, захороненный центр спрединга, однако она в основном имеет особенности типичного срединного массива, т.к. некоторые профили выявляют существование поднятий фундамента ограниченного размера, которые могут представлять собой более поздние извержения (King, Leitchenkov *et al*, 1997). Ось хребта, определенная по гравитационному минимуму, представляет собой линию, не имеющую сильных смещений, хотя небольшой разрыв в  $62^{\circ} 20'$  ю.ш.  $49^{\circ} 50'$  з.д. является очевидным. По постоянному смещению магнитных аномалий на 8 км западнее центральной, предполагается, что аккреция могла иметь преимущественно западное направление (примерно на 4%).

В строении фундамента данного бассейна можно выделить три типа коры: континентальную, переходную и океаническую. Континентальная кора представлена на границах бассейна, из которых западная и восточная являются типичными пассивными окраинами, сложенными палеозойско-мезозойскими комплексами фундамента и состоящими из серий небольших разноориентированных грабенов; а северная и южная (Южный хребет Пауэлл) являются трансформными, и выражены выступами фундамента, осложненными крутопадающими разломами. Кору переходного типа в западной и северной частях бассейна предположительно слагают сильноизмененные опущенные блоки коры континентального типа, в северо-восточной части, имеющей контрастные выступы фундамента, в состав коры могут входить мантийные интрузии. Океаническая природа бассейна была установлена King et al. (1997) на основе сейсмических данных (King, Leitchenkov *et al.*, 1997). Соответственно, по характеру строения фундамента и данным КМПВ, во внутренней части бассейна выделяется океаническая кора.

Осадочный чехол бассейна Пауэлл характеризуется мощностью до 3 км и может быть разделен на две толщи – нижнюю, с нечеткими прерывистыми внутренними отражениями, и, хорошо стратифицируемую в сейсмической записи, верхнюю. Данные изменения в разрезе осадочного чехла могут быть обусловлены развитием водной циркуляции (более активной в стадии спрединга, вследствие наличия открытого пролива, и умеренной в условиях замкнутой акватории настоящего времени).

### 3. ГЛУБОКОВОДНОЕ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЕ

В случае, если при формировании, осадочные бассейны претерпевали стадии рифтогенеза, раскрытия океана и последующего постепенного погружения поверхности кристаллического фундамента, за счет остывания и соответственно утяжеления океанической литосферы, а так же за счет накопления осадочного материала различного типа, в них выделяются два основных структурных этажа, соответствующих рифтовой и пострифтовой фазам развития бассейна. В бассейне Пауэлл данные структурные этажи датируются кайнозойем (Лейченков и др, 2015).

Начало осаднения отложений на рифтовом этапе, соответствует начальной стадии внутриконтинентального рифтогенеза, характеризующейся развитием хрупких деформаций, обусловленных растяжением. Отложения данного этапа представлены флювиальным и озерным типами, в основном развитыми в пределах депрессий, но может встречаться и вулканогенный материал. По мере погружения бассейна образуются внутренние моря и осадки сменяются мелководно-морскими. Отложения пострифтового этапа, формируются в обстановке погружения земной коры после начала спрединга морского дна, и характеризуются глубоководными условиями.

В пределах бассейнов можно выделить две основные области аккомодации осадочного материала, значительно отличающиеся по составу, строению и развитию осадочного чехла, это – мелководная шельфовая часть, и глубоководная область континентального склона, его подножия и абиссальной равнины.

Формирование осадков в глубоководных обстановках континентальных окраин происходит за счет переноса, под действием силы тяжести, накопившегося терригенного материала с материка и шельфовой части бассейна на континентальный склон и абиссальную равнину. Подобное осадконакопление осуществляется в период регрессии, когда осушается шельфовая зона. Наиболее активными факторами переноса терригенного материала преимущественно служат оползни, мутьевые, обломочные и турбидитные потоки, т.е. агенты гравитационного массопереноса, а так же развитые в пределах подножия континентального склона контурные течения. Существенным при глубоководном осадконакоплении является и вклад биогенной и хемогенной седиментаций и эолового разноса, формирующих пелагические и гемипелагические отложения. Кроме того, временными источниками и компонентами переноса обломочного материала могут служить айсберги и льды, содержащие терригенные осадки (Лейченков и др, 2015).

### 3.1 Факторы, контролирующие процессы седиментации

Сейсмические рефлекторы регионального характера в глубоководных условиях возникают вследствие изменения характера или перерывов осадконакопления. Эти процессы регулируются такими факторами, как: изменение климата, колебания уровня Мирового океана, активность циркуляционных водных масс, тектоника, а так же рельеф материковой части и морского дна. Осадконакопление рифтовой стадии и начала пострифтовой стадии развития бассейнов в большей степени контролируется тектоническими процессами, в то время как в середине и в конце пострифтового этапа, т.е. после формирования континентальной окраины, большее значение приобретают изменение уровня Мирового океана и климатические условия.

#### 3.1.1 Климат

Климат оказывает преимущественное влияние на седиментацию, обуславливая активность речных систем, критическую глубину карбонатонакопления, биопродуктивность и др. Бассейны зон аридного климата отличаются преобладанием хемогенной седиментации. Для бассейнов зон гумидного климата характерно разнообразие животного мира и наибольшая распространенность осадков биогенного типа. В областях нивального климата преобладает гравитационное осадконакопление. Основной характеристикой климатической обстановки является температура. С вариациями данного параметра связан такой физико-химический процесс как растворение химических соединений в воде, например в областях пониженных температур интенсивнее растворяется углекислый газ и отложения карбонатного состава. Изменение температуры водных толщ в Антарктике на границе эоцена-олигоцена, вызванное изменением климата и началом покровного оледенения, привели к развитию кремнистых осадкообразующих организмов на месте карбонатных, и соответственно смене состава осадочного материала. Рост и сокращение ледникового покрова в позднем кайнозое так же повлияли на особенности седиментации и фациальные структуры комплексов отложений глубоководных областей (Лейченков и др, 2015).

Климатические изменения в Антарктике на момент формирования и развития бассейна Пауэлл характеризуются следующими событиями.

С раннего эоцена (51 млн лет) началось устойчивое уменьшение средних температур на планете, которое отмечается и на сегодняшний день. В конце раннего

эоцена климат Антарктики сменился более аридным и холодным, который характеризовался глобальными среднегодовыми температурами около  $10^{\circ}$ , зимой - ниже  $0^{\circ}$ . Во второй половине эоцена (42 млн. лет) происходило значительное падение уровня Мирового океана (до 75 м), развитие горных оледенений в прибрежных частях Антарктиды и осцилляции образовавшихся ледовых покровов. На границе позднего эоцена - раннего олигоцена (34 млн лет) существенные изменения климата, выраженные резким похолоданием, обусловили формирование регионального ледникового щита в Антарктиде, что привело к резкому падению уровня Мирового океана (70 м), эрозии поверхности шельфа акваторий окраинных бассейнов и выносу обломочного материала айсбергового разноса. На данный момент начало оледенения связывают с уменьшением концентраций углекислого газа в атмосфере, однако, образование Циркумполярного течения и отсутствие взаимодействия с теплыми субтропическими водами так же имело влияние на развитие данного процесса. После этого происходили быстрые смены средних температур, с максимумами в промежутках 32-30 млн л. и 25 млн л., которые характеризовались уменьшением площади ледового щита, а значит эрозией поверхности и выносом обломочного материала на континентальный склон. В среднем, осцилляции ледового покрова составляли от 40 до 130% относительно его современного объема (Лейченко и др, 2015).

Для позднего олигоцена – раннего миоцена (23 млн лет) характерно временное похолодание, в период действия которого завершило свое формирование Антарктическое Циркумполярное течение. В раннем миоцене (22-16 млн лет) изменение площади ледниковых покровов имело примерно те же масштабы, что и в олигоцене, с максимумами температур в период 17-16 млн л. Стоит отметить, что возникновение ледовых щитов в значительной степени повлияло на режимы водной циркуляции в Мировом океане, за счет усиления прибрежных течений потоками донных вод. Мощность донных потоков зависела от ледниковой обстановки, увеличиваясь в периоды похолоданий и уменьшаясь, на фоне потепления климата.

В среднем миоцене (15-12 млн л) ледовый покров перешел от динамичного характера проявления к более устойчивому. После этого происходили частичные флуктуации ледниковых объемов, однако общая климатическая обстановка характеризовалась похолоданием. Период плиоцена (5,3-1,8 млн л.) относится к последнему геологическому этапу, когда среднегодовые температуры превышали современные значения на 2-3 градуса. На протяжении среднего плиоцена имело место временное потепление, вновь сменившееся стабильным похолоданием.

### 3.1.2 Изменения уровня Мирового океана

Цикличность вариаций уровня Мирового океана определила возникновение поверхностей стратиграфических несогласий и физических границ раздела между фациальными комплексами различного генезиса. На этапе трансгрессии уменьшение поступающего кластического материала, за счет удаления источника сноса от континентального склона и абиссальных равнин, приводит к преобладанию пелагического и гемипелагического осаднения. В период регрессии происходит образование эрозионных поверхностей на шельфе, вследствие увеличения гидродинамической активности речных систем. Водные границы бассейна смещаются к краю шельфа и как следствие, в глубоководные области поступает более грубозернистые осадки. В данный период процессы седиментации преимущественно обусловлены гравитационным массопереносом. Таким образом, за счет изменения генезиса осадочного материала, формируются физические границы раздела (Лейченков и др, 2015).

### 3.1.3 Тектоника и батиметрия морского дна

Влияние тектонических процессов на формирование региональных седиментационных рефлекторов выражалось в образовании глубоких океанических рифтовых систем при распаде Гондваны, под действием которых формировались новые водные циркуляции и особенности условий седиментации, что приводило к изменению состава и структуры отложений, выраженному на сейсмических разрезах в виде отражающих границ.

Медленно текущие водные массы, так же как и придонные течения взаимодействуют с топографическими препятствиями морского дна (подводные горы, глубинные холмы, банки). Данное взаимодействие может увеличить скорость придонного потока в 2 раза. Таким образом, наличие батиметрических возвышенностей в океанических бассейнах приводит к развитию вдоль склоновых каналов и осадочных тел в их бортах.

### 3.1.4 Активность циркуляционных водных масс

Континентальные склоны и абиссальные равнины океанических бассейнов традиционно считаются спокойными обстановками осадконакопления, средой для

образования пелагических отложений, периодически подвергающихся склоновым процессам. В дополнение к этим процессам присутствуют придонные течения, характеризующиеся большим объемом водных масс и образующие покрывающие системы отложений.

Антарктические придонные течения являются одной из основных частей, формирующих глобальную термогалинную циркуляцию и распространяющихся по наиболее глубоким областям в качестве глубинных западных течений. Формирование проливов между бассейнами южной части моря Скоша и северной части моря Уэдделла в среднем миоцене определило преобладающее влияние постоянной глубоководной циркуляции на процессы седиментации в данной области. Как отмечалось ранее, наиболее крупными циркуляционными структурами относительно бассейна Пауэлл являются Атлантическое Циркумпольное глубоководное течение, направленное на восток вдоль моря Скоша, и течения Круговорота Уэдделла, представленные придонными и глубоководными водными потоками (Thoma *et al*, 2006).

В местах, где медленные потоки взаимодействуют с глубинными холмами, подводными горами и банками, или тектоническими нарушениями морского дна, могут возникнуть турбулентные движения, с которыми часто связано образование региональных границ несогласия и которые представлены турбидитными потоками. Под действием турбидитных потоков формируются подводные каналы, обрамленные боковыми наносами. Начало их развития в основном приходится на периоды падения уровня моря, но может так же продолжаться в других трансгрессивно-регрессивных обстановках. Глубина подводного канала и эродированность отложений в нем зависят от энергии и плотности турбидитного потока. Образование прирусловых валов (боковых наносов) происходит в результате осаждения тонкодисперсного вещества по краям канала, где скорость потока ниже. Характерными фациями гравитационного массопереноса являются конусы выноса, параметры которых определяются источником сноса обломочного материала и существующей водной обстановкой.

Несогласия регионального характера так же могут формировать движущиеся вдоль батиметрических контуров мощные устойчивые донные течения. Под их влиянием происходит эрозия донных отложений или перерыв осадконакопления, в зависимости от энергии и плотности водного потока, а так же перемещение кластического материала с образованием обширных осадочных тел – контуритовых наносов или дрифтов.

Донными течениями называют любые полупостоянные водные потоки, которые влияют на осадочный материал морского дна, например ресуспендируют и

транспортируют его, а так же контролируют процесс седиментации, в течение периодов от сотен до миллионов лет. Они преимущественно однонаправленны и определяются конфигурацией океанического бассейна.

Несмотря на общую квазистационарность течения, они могут сильно различаться по местоположению, направлению и скорости в пределах относительно коротких временных масштабов (от часов до месяцев). Такие явления, как глубоководные приливные эффекты, сезонные изменения в свойствах водной массы и вертикальные вихревые потоки в значительной степени контролируют параметры основной части донных течений. По скорости можно выделить три группы водных потоков: низкоскоростные (менее 20 см/с), которые обычно движутся по склонам с низким уклоном и абиссальным равнинам в виде широких водных масс; среднескоростные (до 30 см/с), обусловленные увеличением интенсивности на более крутых склонах и вокруг топографических препятствий на поверхности; высокоскоростные (более 30 см/с), которые сужаются и ускоряются в пределах узких подводных проливов (Лейченков и др., 2015).

Современные донные течения в основном обусловлены термогалинными и ветроиндуцированными системами циркуляции. Кроме того, они могут действовать в качестве элемента восходящих и нисходящих водных потоков, потоков каньонов, внутренних приливов и волн морского дна. (Faugères and Stow, 2008; Shanmugam, 2008)

Локальные составляющие водной циркуляции, такие как большие водовороты и донные шторма тоже вносят вклад в формирование условий седиментации. Образование и деятельность крупных вертикальных вихрей над поверхностью морского дна определяет развитие масштабных эрозионных процессов, которые являются важным механизмом для формирования нефелоидных слоев, а следовательно и дальнего осадочного переноса. Глубоководные шторма представляют собой явления тесно связанные с вихревыми эффектами, которые имеют большой эрозионный потенциал. Образующийся в ходе данного процесса обломочный материал может быть переотложен в более спокойных обстановках. Донные шторма имеют продолжительность от нескольких дней до недель, однако их влияние на осадочные структуры может быть более длительным.

### 3.2 Осадочные фации



Контуриты являются осадочными телами, отложившимися или значительно подвергшимися действию контурных донных течений, которые характерны для определенных регионов океанических бассейнов. Они могут быть проявлены как локальные объекты или в качестве крупномасштабной системы, включающей несколько связанных дрифтов и эрозионных элементов (Faugeres et al, 1999). Контурные дрифты развиты так же широко, как и турбидиты. Они встречаются как в верхней части континентально склона, где расположены поперек внешней кромки шельфа (мелководные контуриты), так и в глубоководных частях акваторий. Их размеры варьируют от 100 км до более чем 100 тыс км, для контуритов с длительным непрерывным осаждением в течение нескольких миллионов лет, при этом могут формироваться положительные формы рельефа высотой до 2000 м. Размер зерен, слагающих дрифты, варьирует от иловых частиц и песков до гравийных компонентов. Главным фактором, определяющим размер частиц, является скорость потока: так низкоскоростные потоки способствуют вертикальной седиментации мелкозернистых взвешенных частиц из нефелоидного слоя, в то время как потоки с промежуточной скоростью вызывают перенос более крупного осадочного материала. Высокоскоростные потоки воздействуют на зерна еще больших размеров и вызывают обширную эрозию, что способствует накоплению крупнозернистых отложений. По составу, осадок может быть представлен несколькими фациями. Терригенные контуритовые фации состоят из тщательно биотурбированных (в редких случаях с сохранением первичной структуры) ила и глин, а иногда песчаного материала. Ледниковые глубоководные контуриты обычно содержат рассеянный крупнозернистый материал, полученный при таянии льда или из изолированных крупных друпстоунов. Для ледниковых отложений характерна форма линз, т.к. снос материала не является постоянным. Биогенные контуритовые фации распространены так же, или даже больше, чем терригенные, и включают в себя мелкозернистые и высокоглинистые типы, такие как фораминиферовые и диатомовые/радиоляритовые пески, содержащие как целые раковины организмов, так и их фрагменты. Они так же большей степенью биотурбированы, но может встречаться горизонтальное залегание. Отличаются значительной биотурбацией осадочного материала и фораминиферовые контуритовые дюны и рябь, наблюдаемые на морском дне, в районах абиссальных океанических проливов. Марганцевые контуритовые фации возникают локально, в виде тонких нерегулярных прослоев в отложениях биогенных и терригенных контуритов. Они соответствуют условиям низких скоростей придонных течений (Howe et al, 1998).

В зависимости от характеристик течения и от локальных источников сноса осадочного материала, в современных океанах выделяется большое разнообразие контурных фаций. Структурные характеристики и местоположение контурных дрифтов обусловлены следующими факторами: скорость течения, топография морского дна, морфология и скорость седиментации, длительность влияния водных масс и взаимосвязь с гравитационными процессами. На основании морфологических характеристик выделяется 5 групп контуритов

### 3.2.1. Покрывающие контуриты (Contourite sheet drift)

Являются одним из наиболее распространенных видов осадочных дрифтов в океанических бассейнах. Сложены мощными осадочными толщами (до нескольких сотен метров), которые занимают обширные площади морского дна с низким рельефом, и имеют морфологически однородную, холмообразную форму пластов с небольшими уменьшениями мощностей по краям дрифта. Покровные дрифты формируются, когда течение имеет ламинарный характер. Для сейсмических границ покрывающих контуритов характерны прерывистость и низкие амплитуды. По способу образования выделяются два типа покрывающих дрифтов: абиссальные и склоновые (Рис.6). Первый тип (*abyssal contourite-sheeted drifts*) формируется в глубинных условиях океанических абиссальных областей и имеет значительные площади распространения (до  $10^6$  км<sup>2</sup>). Отличается низкой скоростью седиментации (2-4 см/год) и слагающим его тонко- и мелкозернистым осадочным материалом, в том числе органическими пелагическими отложениями и марганцевыми красными глинами, которые составляют мощность до нескольких сотен метров. Второй тип (*slope contourite-sheeted drifts*) отличается непостоянством параметров формирования дрифта и характера осадочного материала. В целом, скорости седиментации склоновых контуритов выше, чем абиссальных, а слагающий материал мелко- и среднезернистый. Они характеризуются вытянутостью структуры, имеют меньшие размеры занимаемой территории (до  $10^4$  км<sup>2</sup>) и более холмообразную форму (Faugeres *et al*, 1999).



**Подощва дрифта**

Рисунок 6. Схематическое строение абиссальных покрывающих контуритов (Faugeres *et al*, 1999).

### 3.2.2. Ограниченные контуриты (confine drift)

Вид контурных наносов, наиболее распространенных в небольших бассейнах и развивающихся ограниченных зонах, которые обусловлены тектоническими структурами. Они отличаются невысокой скоростью образующего их потока и геометрией склоновых насыпей, расположенных параллельно ограничивающей структуре. Существенной особенностью является наличие отчетливых каналов по обеим сторонам дрифта (Рис.7).

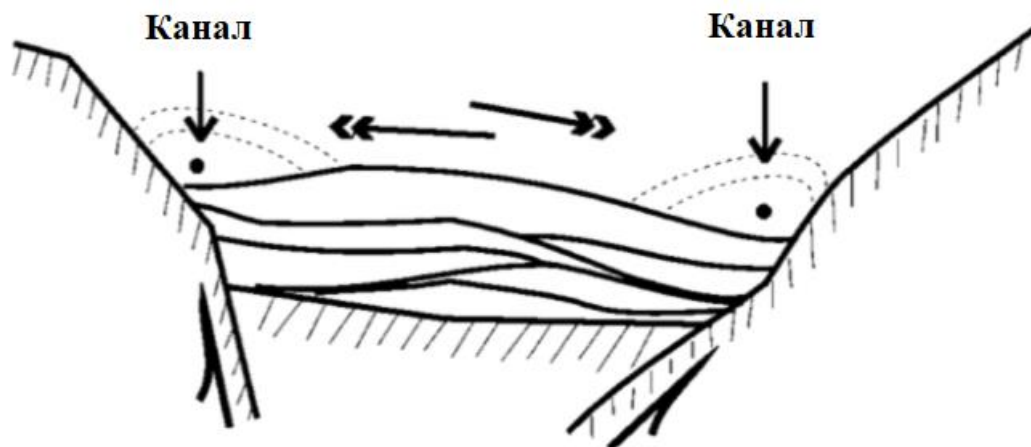


Рисунок 7. Схематическое строение ограниченных контуритов (Faugeres *et al*, 1999).

### 3.2.3. Дрифты, связанные с подводными каналами. (Channel-related drifts)

Характерны для областей развития ограниченных придонных течений большой мощности, связанных с глубокими подводными каналами или проливами. В этом случае в пределах канала значительная эрозия на его дне тесно связана с осаждением мелкозернистых фаций, которые слагают обрамляющие боковые наносы, а так же

локально выраженные, субпараллельные каналу фланговые контуриды (патч-дрифты) небольших размеров (до 100 км<sup>2</sup>) и мощности (до 150 м) (Рис.8). На границе и в устье канала, где скорость потока меньше, формируются контуридовые веера конусообразной формы, размеры которых достигают 200 км в диаметре, а мощность осадочного слоя 300 м (Faugeres *et al*, 1999).

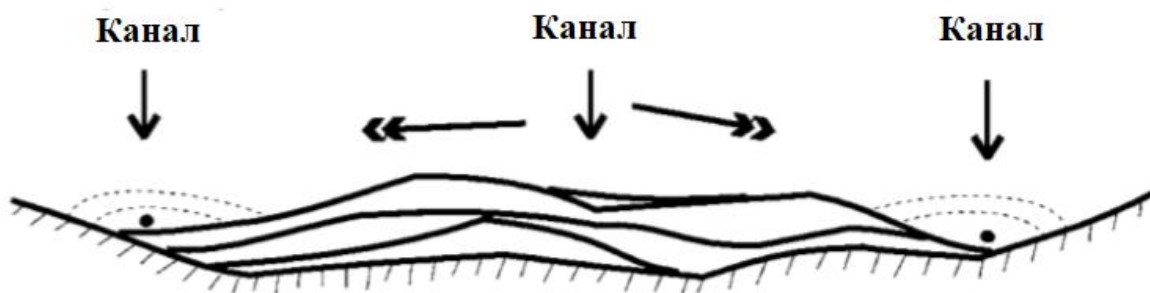


Рисунок 8. Схематическое строение дрифтов, связанных с подводными каналами (Faugeres *et al*, 1999).

#### 3.2.4. Вытянутые холмообразные дрифты (elongate mounded drifts)

К данному типу относятся контуридовые наносы линейной формы, протяженностью от десятков до тысяч километров и мощностью от сотен до тысяч метров. Направленность тел контуридов определяется изменением конфигурации континентальной окраины и рельефа дна, а так же мощностью водного потока. Типичное место образования холмообразных дрифтов не ограничено единственно-возможной зоной океанического бассейна, и лежит в пределах между верхней частью океанического склона и абиссальной равниной. Развитие контуридов данного типа происходит за счет осаждения мелкозернистого осадочного материала различного генезиса из придонного водного потока, со скоростью от менее 20 до 100 см/год (Faugeres *et al*, 1999).

Учитывая форму и параметры рельефа морского дна, можно выделить несколько подтипов дрифтов: 1) пластовые дрифты (plasted drifts), образующиеся за счет вдоль склоновых движений осадочного материала по одну или обе стороны от канала, при низкой скорости водных потоков и пологом ровном склоне; 2) отсоединенные дрифты (detached drifts), характерные для нижних частей крутых склонов, нередко в местах взаимодействий донных и контурных течений, а так же центральных участков депрессий морского дна, перпендикулярно их границам; 3) разделенные дрифты (separated drifts), формирование которых обусловлено водными течениями высокой скорости и переносом осадочного материала вверх по склону (а

соответственно и увеличением мощности в том же направлении)(Рис.9). Последние, в основном, имеют ассиметричную форму и располагаются у основания крутых склонов, при этом процесс седиментации происходит вдоль левого борта канала по направлению течения, а вдоль правого борта, где скорость водного потока больше, развивается эрозионная поверхность.

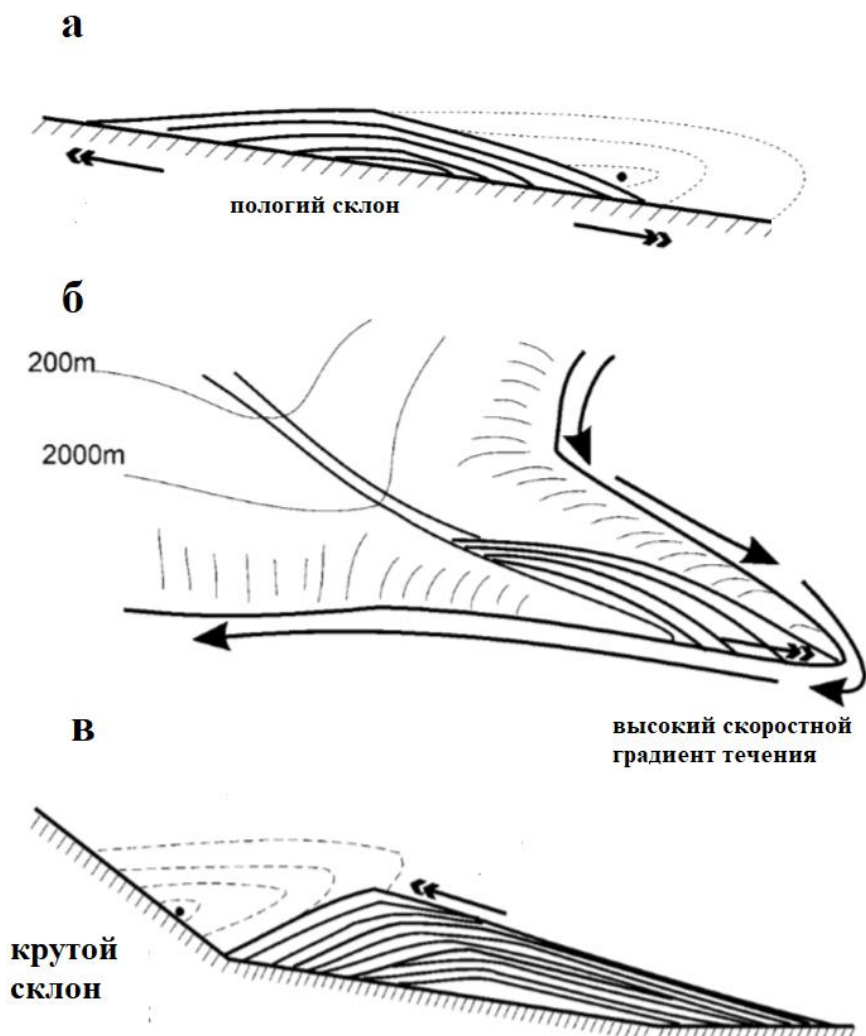


Рисунок 9. Схематическое строение вытянутых холмообразных дрифтов (а.пластовые дрифты, б.отсоединенные дрифты, в. разделенные дрифты) (Faugeres *et al*, 1999)

### 3.2.5. Смешанные системы дрифтов

Для смешанных систем характерно значительное взаимодействие контурных донных течений с другими процессами седиментации, реализуемыми при накоплении тела дрифта. В результате наложения различных процессов данные осадочные структуры включают глубоководные фации, которые осаждаются либо эпизодическими склоновыми процессами (турбидиты, дебриты), либо связаны с непрерывной

вертикальной седиментацией (пелагиты, гемипелагиты). В случае смешанных систем может произойти как изменение правильной морфологии дрефта, вследствие значительных склоновых процессов, так и латеральные смещения комплексов турбидитов, обусловленное мощным контурным потоком (Maldonado *et al*, 2009).

Стоит отметить, что мелкомасштабные осадочные структуры могут отсутствовать или подвергнуться значительным изменениям, вследствие воздействия постоянной биотурбации, скорость которой превосходит скорость седиментации дрефтов.

Контуриты на сейсмической записи, как правило, нелегко распознать из-за отсутствия однозначных диагностических критериев и большого разнообразия их видов.

Следует отметить, что в качестве региональных сейсмических границ в бассейнах континентальной окраины Антарктики на глубинах 400-600 м ниже уровня морского дна широко развиты субпараллельные морскому дну отражающие горизонты BSR (Bottom Simulating Reflectors). Однако данные отражения относятся к диагенетическим разделам, которые в разрезе представляют собой цикл маломощных кремнистых прослоев вблизи глубинных поверхностей тектонического срыва, и, которые связаны с кремнистым диагенезом (растворением и переотложением с переходом опала "А" в опал "СТ" , а следовательно, они не обусловлены изменением характера седиментации и не имеют отношения к сейсмической стратиграфии (Лейченков и др., 2015).

#### 4. СЕЙСМОСТРАТИГРАФИЯ ОСАДОЧНОГО ЧЕХЛА БАССЕЙНА ПАУЭЛЛ.

На сейсмических профилях, полученных в бассейне Пауэлл, выявляются разнообразные седиментационные и эрозионные структуры, а так же общая неравномерность распределение осадочных комплексов.

В пределах бассейна Пауэлл можно выделить шесть отчетливо маркируемых региональных границ, представленных высоко амплитудными протяженными рефлекторами, которые разделяют семь сейсмических комплексов, обладающих различными динамическими (частотно-амплитудными) и структурными параметрами внутреннего строения.

Данные возрастов региональных рефлекторов основываются на изученных представительных профилях в северной части моря Уэдделла. Основными параметрами, используемыми для определения возрастов сейсмических комплексов, являются: время седиментации приповерхностных отложений и возраст фундамента, полученный по результатам интерпретации магнитных аномалий и общей мощности осадочных комплексов данного района (Viseras, Maldonado, 1999).

Учитывая вышесказанное, рассчитанные возрасты для выявленных региональных границ составили:

- 30-22 млн лет – В –

Высоко амплитудные отражения фиксируют верхний слой разновозрастного акустического фундамента (средняя скорость 2,2 км/с). На большей части бассейна данная граница является рельефной или ровной и динамически контрастной, хотя в некоторых частях слабо выражена. Она отделяет хорошо стратифицируемые вышележащие отложения и практически полностью акустически прозрачные подстилающие толщи фундамента. Глубины залегания варьируют от 2 до 7,5 с (время двойного пробега).

- 21-24 млн лет -U5 –

Несогласие представлено непрерывными рефлекторами переменной амплитуды. Данная граница фиксирует смену характера осадконакопления, вследствие поздне-олигоценового оледенения.

- 18,7 млн лет - U5a -

Критерием выделения ранне-миоценового несогласия является различие в структуре сейсмических данных толщ, расположенных выше и ниже данной границы. Характер амплитуд отражений изменяется по латерали и граница регистрируется

прерывисто. Является наиболее крупным несогласием в пределах глубоководной части бассейна.

- 14,5 млн лет - U4 –

Граница отражает стабилизацию ледникового покрова Антарктиды в среднем миоцене и представляет собой прерывистые высоко амплитудные рефлекторы.

- 12,1 млн лет - U3 –

Верхне- среднемиоценовое несогласие характеризующее переход от отложений олигоцена миоцена, с большей частью хаотическими внутренними отражениями, к хорошо стратифицируемым.

- 3,7 – 4,3 млн лет - U2 –

Несогласие в начале позднего плиоцена. Практически повторяет контуры современного рельефа.

Акустический фундамент, подстилающий осадочный чехол, в пределах бассейна Пауэлл, как ранее отмечалось, представлен земной корой трех типов (океанической, континентальной и переходной). В западной и восточной частях бассейна (на шельфе Южно-Оркнейского микроконтинента и континентальных блоках Антарктического полуострова), т.е. в наиболее мелководных областях, фундамент представлен континентальной корой, сложенной метаморфизованными орогенными комплексами, которые датируют мезозоем. Смена типа земной коры фиксируется по изменениям строения внутренних отражений фундамента, а именно переходом к сложной структуре с хаотически расположенными выпуклыми рефлекторами и гиперболами дифрагированных волн.

Снизу вверх по разрезу осадочного чехла бассейна Пауэлл выделяются следующие сейсмические комплексы:

- Комплекс 6 (21 –30 млн л.)

Данный комплекс включает отложения предрифтовой и рифтовой стадий развития бассейна. Отложения первой стадии развиты в депрессиях, расположенных на северо-западной окраине бассейна и представляют собой протосеквенции бассейна Пауэлл. В них могут наблюдаться слои с хаотическим внутренним строением, вплоть до акустически прозрачного, что вероятнее всего указывает на вулканокластический материал. Нижняя часть отложений, формирующихся синхронно с фазой рифтогенеза (синрифтовые), отвечает низкоамплитудной или акустически полупрозрачной толще, залегающей на фундаменте или предрифтовом комплексе. Верхняя часть характеризуется высоко амплитудными непрерывными отражениями



Синрифтовые отложения отличаются выклиниваем в направлении центра бассейна, утонением на бортах осадочных тел. На юге заполняют нижние части бортовых полуграбенов, на севере представлены непрерывно. По характеру сейсмической записи можно предположить, что в составе данных отложений, вероятно, преобладают склоновые терригенные фации (Viseras, Maldonado, 1999).

Мощность комплекса может достигать 0,8 с (время двойного пробега), но чаще варьирует в пределах 0,2- 0,5 с (в.д.п.).

- Комплекс 5 (18,7 – 21 млн л.)

Залегают непосредственно на комплексе 6 или магматическом фундаменте, что характерно для районов локальных морфологических возвышенностей. К особенностям распространения относится развитость на всей площади рассматриваемой акватории.

По времени образования, отложения относятся к раннемиоценовому пострифтовому этапу развития бассейна. Комплекс представлен параллельными и прерывистыми внутренними отражениями преимущественно в абиссальных зонах, и сменяющими их по латерали хаотичными рефлекторами, вплоть до акустически прозрачных внутренних структур на склоновых областях. По аналогии с Южно-Оркнейским микроконтинентом для отложений первой зоны предполагается наличие значительной диатомовой компоненты.

Мощность комплекса изменяется от 0,2 до 0,45 с (в.д.п.) в депрессиях фундамента, до выклинивания на структурных поднятиях. При этом наблюдается общее незначительное уменьшение мощности с запада на восток.

К сейсмическим фациям, проявленным в данном комплексе, можно отнести пластовые дрифты с хаотичными и циклическими внутренними отражениями умеренных амплитуд. В западной части бассейна выделяются развиты линзообразные структуры турбидитных потоков, с очень слабыми внутренними или хаотичными внутренними отражениями.

- Комплекс 4 (14,5 -18,7 млн л.)

Перекрывает комплекс 5, а так же может залегать поверх фундамента. Хорошо стратифицирован, выделяются аккумулятивные равнины. Несмотря на региональное распространение, геометрия комплекса, так же как и у подстилающих осадочных толщ, линзовидная, ограниченная структурными поднятиями бассейна. Внутренние отражения характеризуются протяженностью, а так же уменьшением амплитуд и проявлением хаотической структуры в направлении возвышенностей акустического фундамента (Рис.10).

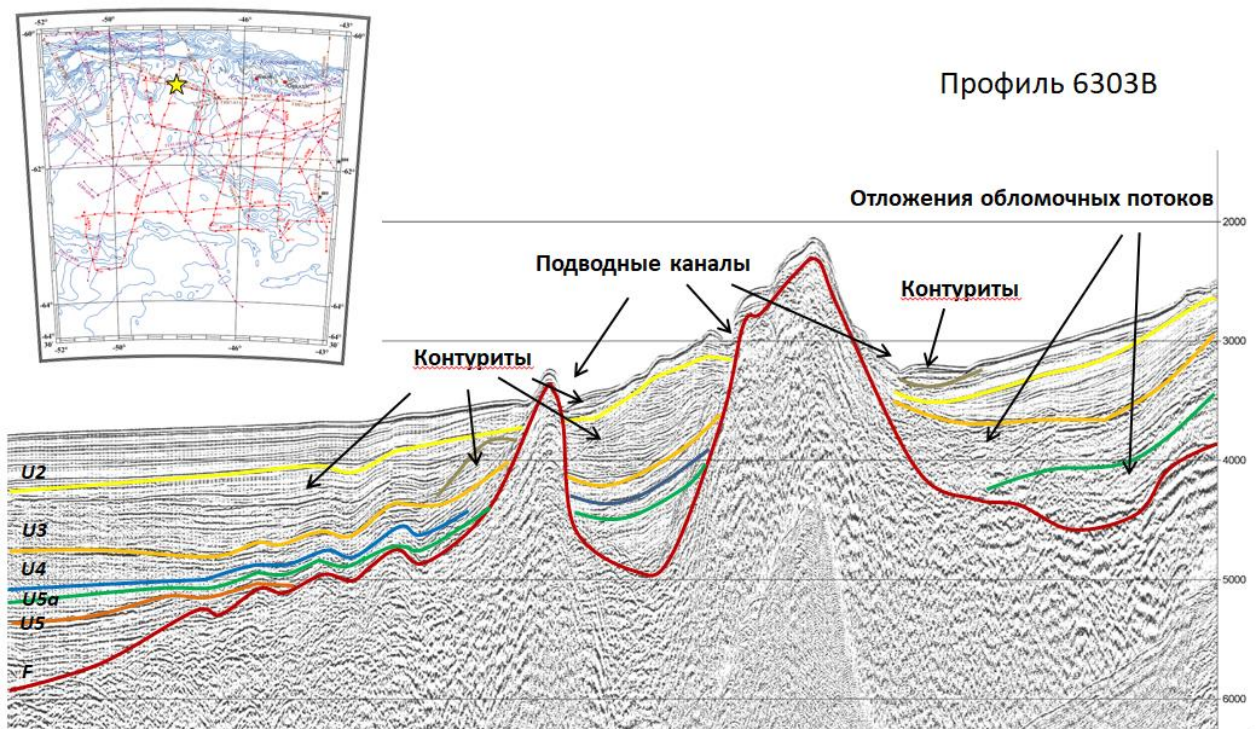


Рисунок 10. Сейсмический разрез по профилю 6303В, иллюстрирующий сейсмофациальные и стратиграфические особенности осадочного чехла в бассейне Пауэлл

Мощность комплекса преимущественно составляет от 0,1 до 0,4 с (в.д.п.), с выклиниванием у крупных положительных форм рельефа. В грабенах на юге перекрывает ось срединного палеохребта.

В пределах комплекса выявлены внешние и внутренние геометрические конфигурации, которые можно отнести к осадочным телам контуритов, имеющих широкое распространение.

- Комплекс 3 (12 -14,5 млн л.)

Отложения данного комплекса меньше подвержены выклиниваю на положительных морфологических структурах и залегают практически сплошным чехлом на всей территории бассейна. По своим физическим характеристикам и внутреннему строению, отложения комплекса почти не отличаются на сейсмической записи от нижележащих пород.

Мощность изменяется в среднем от 0,15 до 0,4 с (в.д.п.).

Сейсмические фации представлены большим количеством осадочных тел контуритов, преимущественно в бортах батиметрических возвышенностей, пелагическими и гемипелагическими осадками в глубоководных и морфологически однородных областях бассейна. Кроме того локальное развитие получили отложения турбидитовых потоков (Рис.11). Кровля комплекса представлена высокоамплитудным

региональным рефлексором с выраженным эрозионным характером и прерывистым рельефом.

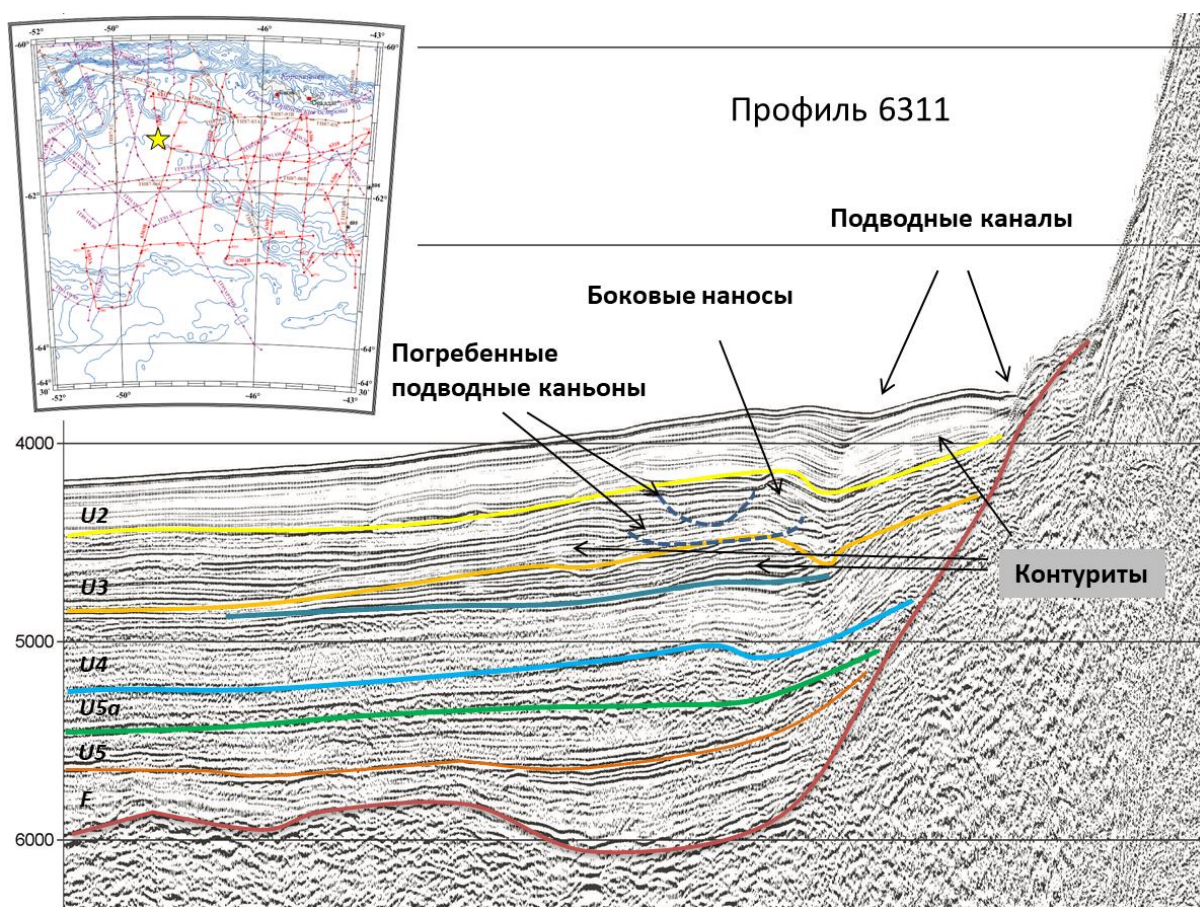


Рисунок 11. Сейсмический разрез по профилю 6311, иллюстрирующий сейсмофациальные и стратиграфические особенности осадочного чехла в бассейне Пауэлл

- Комплекс 2 (4 -12 млн л.)

В данном комплексе можно выделить нижнюю и верхнюю части, которые хотя и имеют отличия, не разделяются границей региональной протяженности.

Нижняя часть перекрывает отложения комплекса 3, при этом в центральной части бассейна – согласно, на краях - трансгрессивно. Отражающие границы в основании локально демонстрируют хаотичный характер. В целом, внутренняя структура выражена высокими амплитудами и латеральной протяженностью рефлексоров.

Верхняя часть более акустически прозрачная, иногда с низкими амплитудами внутренних отражений, которые увеличиваются в направлении кровли комплекса и имеют большую протяженность.

Геометрия комплекса покровная, но может изменяться в направлении окраинных каналов дрифтов. Общая мощность составляет около 0,3-0,6 с (в.д.п.).



В пределах данного комплекса проявлены хаотические сейсмические фации покрывающей формы с высоко амплитудными внутренними отражениями, и области гемипелагического и пелагического осадконакопления (Рис.12).

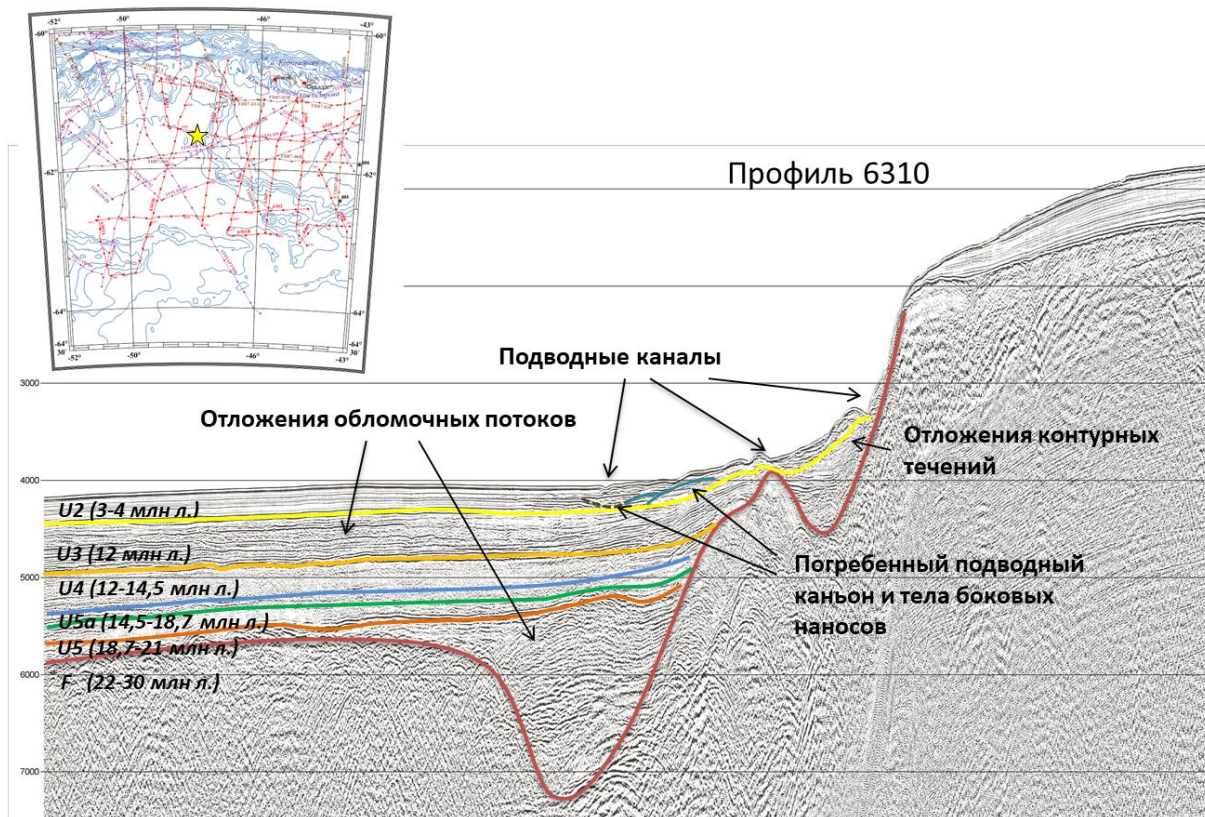


Рисунок 12. Сейсмический разрез по профилю 6310, иллюстрирующий сейсмофациальные и стратиграфические особенности осадочного чехла в бассейне Пауэлл

- Комплекс 1 ( менее 3,7-4,3 млн л.)

Отложения данного комплекса согласно и эрозионно перекрывают отложения комплекса 2, имеют покрывную геометрию.

Характеризуется развитием прозрачных и хаотичных сейсмических фаций. Внутренние отражающие границы, ярко выраженные у основания комплекса, переходят выше по разрезу в акустически прозрачные. Таким образом, сейсмический характер похож на нижележащий комплекс. Отражения с седиментационными волнами, дрифтами, эрозионными каналами и хаотическими фациями развиты по всей площади (Рис.13)

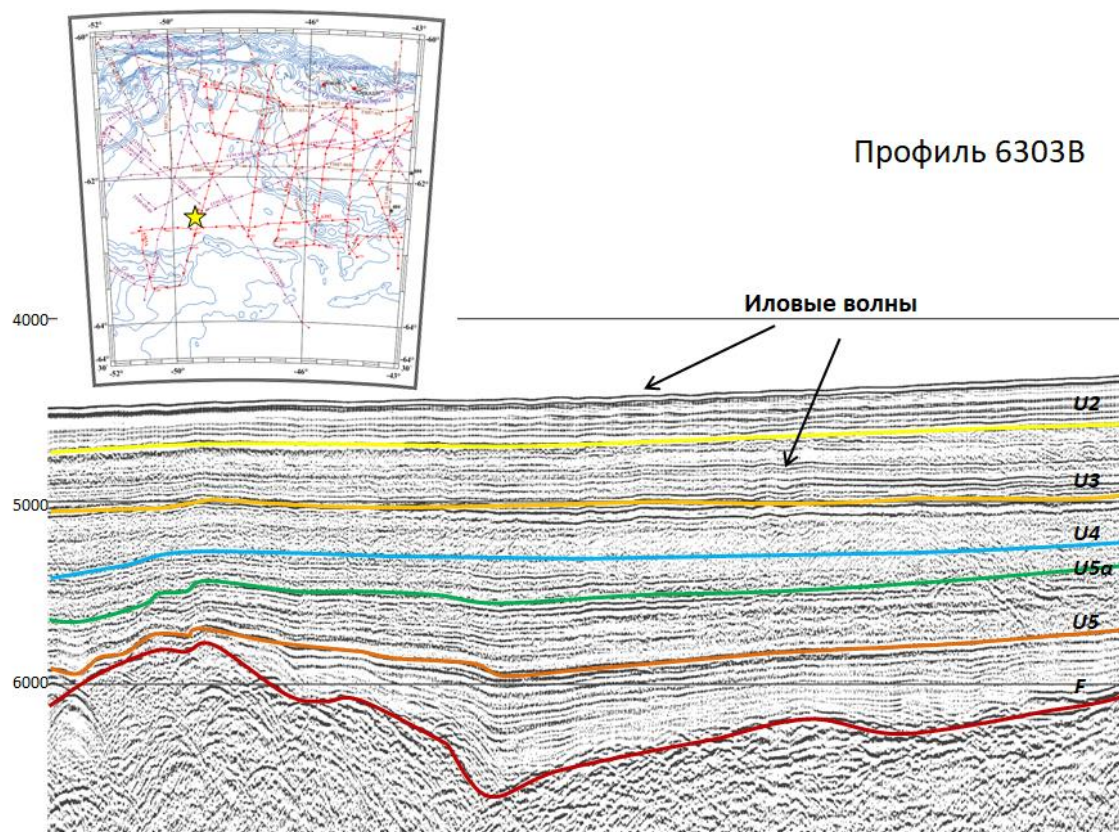


Рисунок 13. Сейсмический разрез по профилю 6303В, иллюстрирующий сейсмофациальные и стратиграфические особенности осадочного чехла в бассейне Пауэлл

Максимальная мощность достигает 0,5 с (в.д.п.) на севере бассейна, и уменьшается в сторону глубоководной части акватории (Рис 14).



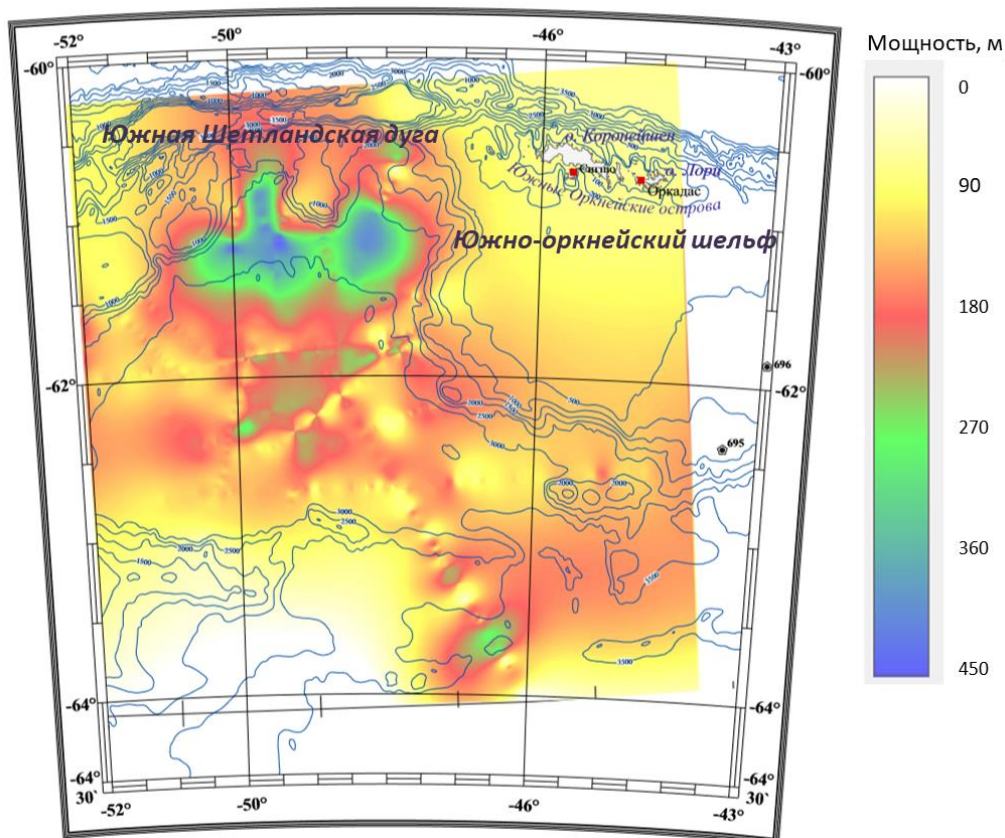


Рисунок 14. Карта мощности комплекса 1 бассейна Пауэлл, полученная при корреляции сейсмических профилей

В нижней части комплекса преобладает покровная геометрия осадочных тел, имеющих параллельные высокоамплитудные отражения. На востоке бассейна развиты сигмовидные клинья и оползни. В верхней части разреза покровные дрифты преобладают в центре и на юге бассейна. Для областей между континентальным склоном и абиссальной равниной на севере, западе и востоке бассейна характерны фации осадочных волн (Howe *et al*, 1998).

Опираясь на сейсмические данные, можно сделать следующие выводы о сейсмических фациях данного региона.

Контуриты в пределах бассейна Пауэлл обычно развиваются вдоль возвышенностей рельефа, мигрируют параллельно с контурными течениями, и в зависимости от топографии дна меняют свое направление. Они не имеют систематического развития вдали от осадочных источников континентальных окраин. Одной из их особенностей является асимметричное осаждение вдоль одной стороны канала и эрозией на другой. Для всех дрифтов характерны схожие фации, представленные множеством хорошо стратифицируемых, субпараллельных и хорошо выдержанных отражений средних амплитуд. Тела контуритов составлены из более или

менее циклических серий с тонкими прослоями бесструктурных, акустически прозрачных или слабых отражений.

В пределах комплексов осадочного чехла, исключая шестой, широкие холмообразные и покрывающие дрифты являются доминирующими осадочными структурами. Они имеют мощность 100-600 м, часто с осадочными волнами на поверхности, в некоторых случаях с длинами волн до 3,7 км и высотой до 80 м.

Для турбидитов характерно симметричное развитие боковых наносов, однако осадочное тело на западном борту, отличается чуть большими размерами, вследствие влияния силы Кориолиса в южном полушарии. Рефлекторы у турбидитных наносов находятся не ниже по течению как у контуритов, а сбоку от каналов, которые часто ассоциируют с каньонами. Стоит так же отметить, что независимо от рельефа морского дна турбидитные потоки чаще всего развивают классический комплекс с симметричной геометрией. Наибольшее распространение тела турбидитных потоков получили в последних двух комплексах, где в основном приурочены к северо-восточной части бассейна.

Не менее важными и развитыми являются гемипелагические и пелагические осадки, занимающие центральные части акватории, и проявленные практически во всех отложениях, с максимумами в последних трех комплексах.

## 5. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ОСАДОЧНОГО ЧЕХЛА БАССЕЙНА ПАУЭЛЛ

На основании указанных данных была проведена сейсмостратиграфическая интерпретация имеющихся материалов, в результате чего были установлены основные черты эволюции осадочного чехла бассейна Пауэлл.

Одновременно с процессами заложение рассматриваемого бассейна, началось развитие нижнего структурного этажа осадочного чехла.

Особенности строения этого комплекса свидетельствуют о преимущественной седиментации в условиях длительного погружения первичного грабена, вероятно чередующегося с импульсами асимметричного растяжения. Последовательное растяжения и погружения земной коры были проявлены в рассматриваемом регионе в период позднего олигоцена - раннего миоцена, к этому же времени относится и формирование осадочного материала. Малую мощность и локальную распространенность комплекса можно объяснить вздыманием земной коры рифтового грабена вследствие подтока астеносферного вещества, и последующей эрозией накопившихся осадков. Кратковременное похолодание климата в Антарктике 25 млн л.н. так же является значимым процессом: оно усилило сток донных течений в подножии склона, что в свою очередь активировало гравитационный массоперенос. В результате данных событий, рифтовый грабен заполнялся материалом континентального и мелководно-морского генезиса, основным агентом переноса которого служили гравитационные процессы.

Судя по характеру сейсмической записи, вышележащие отложения пострифтового этапа накапливались в глубоководных обстановках, при невысокой тектонической активности: осадки выдержаны по простиранию и мощности, хорошо стратифицированы и последовательно выклиниваются в направлении осевого поднятия.

Вверх по разрезу комплекса 5, не ледниковые условия сменяются осадочным режимом с усиленным проявлением ледниковых процессов. Похолодание в раннем миоцене (20 млн л), и как следствие разрастание ледового покрова на Южно-Оркнейском микроконтиненте, определили активный вынос обломочного материала на континентальный склон восточной части бассейна Пауэлл, его последующую транспортировку и переотложение. Наиболее значимыми в данных обстановках являются турбидитные потоки, и доминирующие фации соответственно представлены осадочными телами турбидитов, и в меньшей степени глубоководными каналами с



боковыми наносами. На западе бассейна, были проявлены общие условия оледенений, к которым относятся падение уровня моря, и соответственно преобладание открытых, а значит низкоэнергетических морских условий седиментации в пределах континентальных склонов и прилегающих частей абиссальных равнин. Как следствие, питание глубоководной части происходило преимущественно за счет медленного пелагического и гемипелагического осадконакопления.

Граница 18,7 млн лет маркирует проявление эрозионных процессов, и возможное начало развития в бассейне Пауэлл ветви придонного циркуляционного течения моря Уэдделла, которая направлена по часовой стрелке и на севере частично уходит в море Скоша. С этого времени донные течения, в том числе и контурные, преимущественно контролировали процессы седиментации в пределах подножий континентальных склонов и других морфологических поднятий. Таким образом, действие придонных течений было проявлено уже на ранних этапах формирования осадочного чехла.

Период с 23 до 14 млн лет является наиболее продуктивным, относительно поступления терригенного материала в глубоководную зону, что вероятнее всего связано с частым разрастанием площади ледового покрова, доходившего до границы континентального шельфа. Такие осцилляции ледовых толщ фиксируются изменениями фациальной структуры осадочного чехла. Выше границы 23 млн лет, с которой связано окончание стабилизации Антарктического циркумполярного течения, ветви которого так же могли проходить через бассейн Пауэлл, расширилась сеть подводных каналов, образовывались иловые волны и тела контуритов, развитие которых значительно усилилось в раннем миоцене (21-18 млн л). Это отчасти связано и с формированием донных течений, зарождающихся на ледовых шельфах, которые определяли образование более мощных и высокоэнергичных потоков, способных переливаться на края каналов и формировать волнистую морфологию дна. Кроме того, донные воды усиливали контурные течения.

К концу раннего миоцена приурочено потепление климата и высокое стояние уровня моря, характеризующееся действием придонных течений, которые выражены захороненными эрозионными каналами и осадочными отложениями дрифтов.

Граница 14 млн лет соответствует глобальному похолоданию, которое привело к стабилизации антарктического ледового щита, снижению скорости и изменению условий седиментации на континентальных окраинах. В среднем миоцене возрастает скорость пригибания фундамента, о чем свидетельствуют оползневые тела на его

бортах, однако формирование гравитационных осадочных тел не скомпенсировало погружение.

В отличие от предыдущих периодов региональных снижений температур, в данном случае преобладало сухое ложе ледникового покрова, не обладающее высоким эрозионным воздействием, а, следовательно, характеризующееся малыми объемами сноса терригенного материала. Формирование относительно стабильных гидрологических условий способствовало накоплению осадочных толщ преимущественно за счет действия придонных течений. К данному периоду относится максимум распределений тел дрейфов, обусловленный влиянием современной термогалинной циркуляции.

Поздний миоцен характеризуется глобальным похолоданием и граница 12,1 млн лет фиксирует наиболее значительную эрозионную поверхность.

С 12 до 4 млн лет события седиментации связаны с изменением источника сноса или объема поступающего осадка. В позднем миоцене была реорганизована система придонных течений и широкое развитие получили хаотичные отложения. Скорость термогалинной циркуляции 6,8 млн лет назад была приблизительно равна современной, постепенно увеличиваясь к плиоцену. Активизация донных течений, вероятно, отражает увеличение продуктивности водных масс Круговорота Уэдделла и отходящих от него ветвей. С увеличением энергии течений связана и эрозионная поверхность несогласия на рубеже миоцена-плиоцена. К этому же возрасту относится общее замедление прогибания океанического дна.

Наиболее молодые комплексы плиоцена - квартера, сформированные в условиях малоподвижного обширного ледового покрова, в сравнении с ранним-средним миоценом, характеризуются незначительным осадконакоплением в глубоководных областях. Максимальные мощности толщ фиксируются на севере и северо-востоке, что предположительно связано с широким развитием в данных областях контурных течений, которые оказывали заметное влияние на темпы седиментации в пределах континентальных склонов и морфологических поднятий абиссальных равнин (Рис ..) В комплексе часто встречаются структуры иловых волн. Развитие получили и эрозионные каналы с прирусловыми валами, вследствие увеличения влияния гравитационного массопереноса. Климат в плиоцене был теплее, чем в миоцене, а скорость осадконакопления существенно ниже.

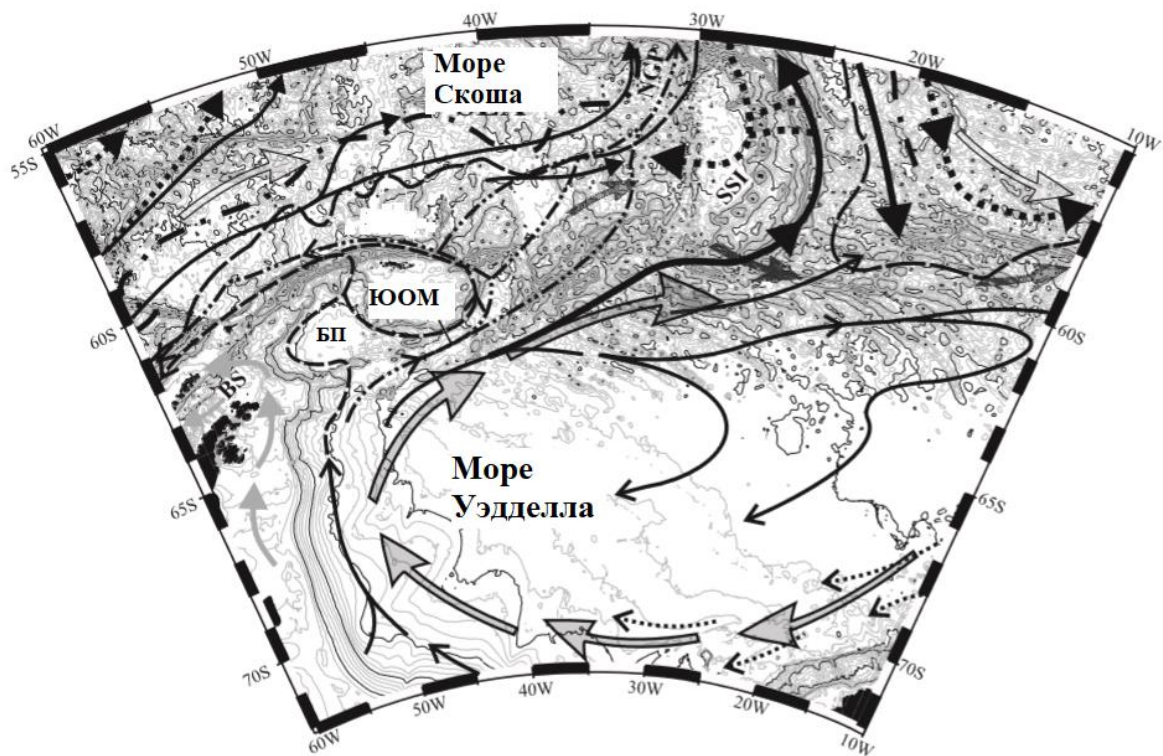


Рисунок 15. Схема распространения придонных течений в море Уэдделла (БП- бассейн Пауэлл, ЮОМ- Южно-Оркнейский микроконтинент. Пунктирной линией в бассейне Пауэлл показана ветвь придонных течений Круговорота Уэдделла) (Maldonado, Barnolas, 2009)

Небольшие керны из абиссальной равнины моря Уэдделла сложены однородными гемипелагическими мелкозернистыми отложениями, которые подверглись интенсивной биотурбации, и практически утратили свою первоначальную структуру. Это указывает на высокие энергии потока и широкое развитие хаотических осадочных фаций.

Стоит так же отметить, что суммарная мощность осадочного чехла в восточной части бассейна меньше, чем в западной, что объясняется закономерностями роста бассейна Пауэлл.

По выделенным в регионе фациям разного возраста была составлена схема их распространения (Рис.15).

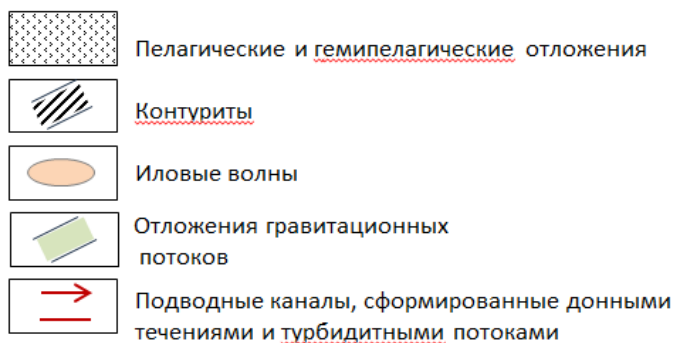
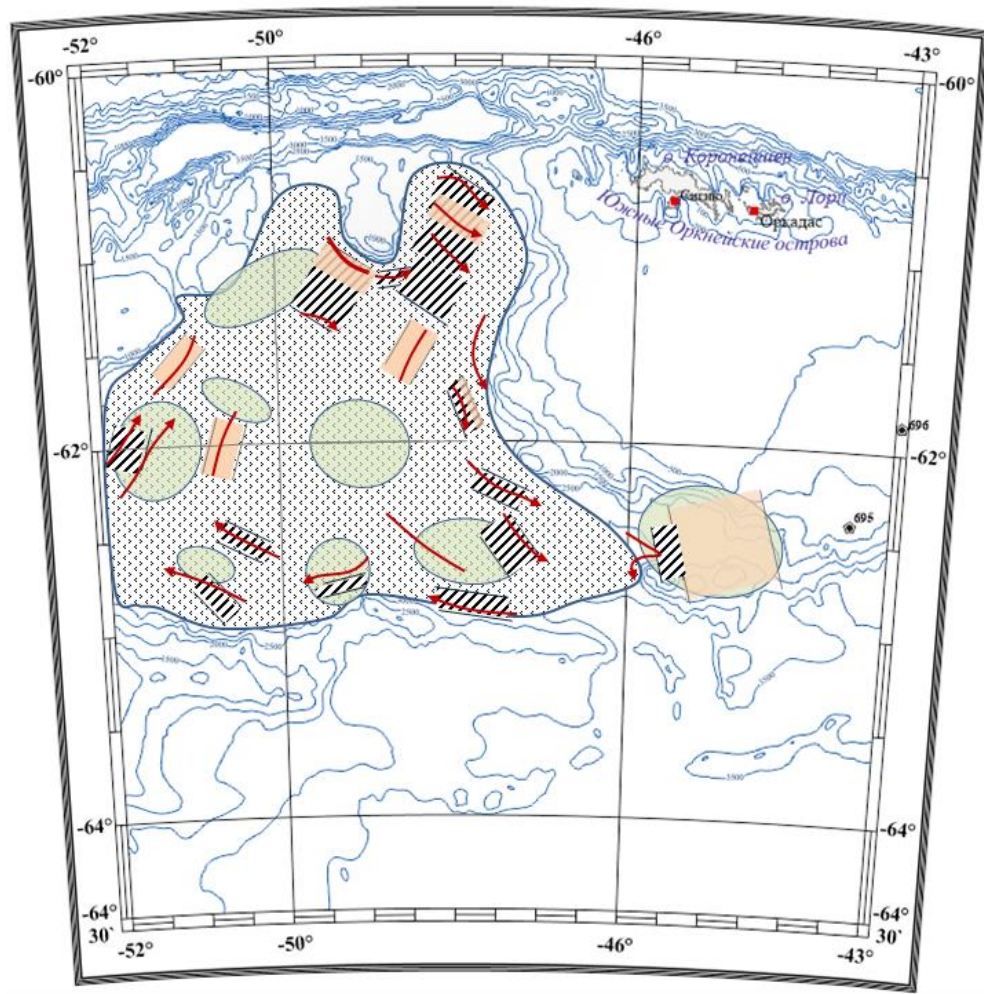


Рисунок 16. Схема распространения осадочных фаций

Проанализировав данную схему можно сделать следующие выводы о распределении осадочных фаций по областям бассейна Пауэлл:

- Центральная часть бассейна (СОХ). Осадочные отражения имеют волнообразную форму и изменяются по мощности, что может быть результатом действия донных течений, проявленным в процессе седиментации в рифтовых депрессиях. Среди осадочных фаций абиссальной равнины бассейна Пауэлл

преобладают гемипелагические и пелагические осадки, с зафиксированными глинистыми волнами, локально доминируют тела турбидитов и контуритов.

- Южно-Оркнейская окраина. Узкий шельф обуславливает перемещение части осадочного материала к основанию склона. Развитие имеют как гравитационные отложения, представленные турбидитами или сигмовидными клиньями (обломки ледниковых отложений), так и дрифты, образуемые в результате воздействия вдоль склоновых контурных течений.
- Антарктическая окраина. Склоны окраины менее крутые, по сравнению с восточной границей бассейна, и осадочный чехол имеет большие мощности. Доминирующими фациями являются тела контуритов и иловые волны.
- Хребет Скоша. Граница имеет высокоамплитудные отражения от акустического фундамента и крутой склон. Нижняя часть континентального склона представлена материалом конуса выноса. Широко развиты отложения придонных течений, которые так же наблюдаются восточнее.
- Южная граница. Представляет собой узкий гребень с плоской вершиной (за счет волновой или ледниковой эрозии), который разделяет бассейн Пауэлл от моря Уэдделла. Акустический фундамент перекрывает мощный слой, с отражениями, как в центральной части. Со стороны бассейна выявляется 2 террасы с осадочным материалом, слагаемые фациями контуритов и осадочных волн.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате интерпретации геофизических данных было установлено строение осадочного чехла бассейна Пауэлл, описаны генезис, структура и возраст сейсмических комплексов и границ. Так же было выявлено распределение сейсмических фаций, позволяющее обосновать реконструкцию обстановок осадконакопления в олигоцене- квартере. Проведена корреляция истории развития и динамики ледового покрова и донных течений с процессами седиментации.

Бассейн Пауэлл начал свое формирование около 30 млн лет назад, в результате растяжения земной коры между Антарктическим полуостровом и Южно-Оркнейским микроконтинентом. В пределах осадочного чехла бассейна Пауэлл можно выделить несколько комплексов, каждый из которых характеризуется собственными сейсмофациальными особенностями, проявленными на сейсмических разрезах.

Процессы тектоники, обусловившие характер областей седиментации, привели к формированию двух структурных этажей, возраст которых соответствует рифтовой и пострифтовой стадиям развития бассейна.

Наиболее древние стратифицируемые комплексы преимущественно распространены на окраинах бассейна в пределах депрессий фундамента. Они отличаются хаотичностью внутренних отражений проявленных на сейсмической записи и вероятно связаны с тектоническими этапами рифтинга и последующего спрединга в бассейне. Вышележащие комплексы не имеют ограничений распространения и залегают сплошным чехлом. В них так же разделяются два структурных этажа, особенности которых, связаны с изменением характера условий седиментации. Комплексы нижнего структурного этажа имеют слабовыраженную внутреннюю стратификацию и вероятнее всего соответствуют обстановке открытого бассейна. Вышележащие комплексы отличаются хорошей стратификацией отложений.

Внешняя геометрия и характер акустической записи в пределах сейсмических подразделений указывают на стабильное развитие процессов придонных течений, исключая нижние отложения раннего миоцена.

Сейсмофациальный анализ осадочного чехла бассейна Пауэлл позволил сделать важные выводы о региональных изменениях природных условий в геологическом прошлом. Были выявлены связь между основными климатическими вариациями и развитием донных течений, влияющих на состав осадочных толщ и процесс седиментации.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лейченков Г.Л., Гусева Ю.Б., Гандюхин В.В., Иванов С.В. Строение земной коры и история геологического развития осадочных бассейнов индоокеанской акватории Антарктики. М.: Разведка и охрана недр, 2015.
2. Лунев П.И. «Геолого-геофизическое изучение и оценка минерально-сырьевого потенциала недр Антарктиды и её окраинных морей в составе 62 РАЭ (3 этап), 63 РАЭ (2,3 этапы)». Л.: Отчет Полярной Морской Геологоразведочной Экспедиции, 2018.
3. Coren F., Ciccione G., Lodolo E., Zanolla C., Zitellini N., Bonnazi C. and Centonze J. Morphology, seismic structure and tectonic development of the Powell Basin, Antarctica. London: Journal of the Geological Society, Vol.154, 1997, 849-862.
4. Eagles G., Livermore R.A. Opening history of Powell Basin, Antarctic Peninsula. J: Marine Geology, Vol. 185, 2002, 195-205.
5. Faugeres J.-C., Mulder T. Seismic features diagnostic of contourite drifts. France: Universite de Bordeaux, 1999, pp 1-38.
6. Howe J.A., Livermore R.A., Maldonado A. Mudwave activity and current-controlled sedimentation in Powell Basin, northern Weddell Sea, Antarctica. J: Marine Geology, Vol. 149, 1998, 229-241.
7. King E.C., Leitchenkov G.L., Galindo-Zaldivar J., Maldonado A., Lodolo E. Crustal structure and sedimentation in Powell Basin. Geology and seismic stratigraphy of the Antarctic margin, part 2. Antarctic research series, Vol.71, 1997, 75-93.
8. Maldonado A., Barnolas A., Bohoyo F., Escutia C., Galindo-Zaldivar J., Hernandez-Molina J., Jabaloy A., Lobo F.J., Nelson C.H., Rodriguez-Fernandez J., Somoza L. and Vazquez J.-T. Miocene to recent contourite drifts development in the northern Weddell Sea (Antarctica). J: Global and Planetary Change, Vol. 45, 2009, 99-129.
9. Thoma M., Grosfeld K. and Lange M.A. Impact of the Eastern Weddell Ice Shelves on water masses in the eastern Weddell Sea. J: Geophys. Res., Vol. 111, 2006.
10. Viseras C., Maldonado A. Facies architecture, seismic stratigraphy and development of a high-latitude basin: the Powell Basin (Antarctica). J: Marine Geology, Vol. 157, 1999, 69-87.