

УДК 551.462.32:(551.243.8+551.33):(528.8.04+528.87):(004.6+004.92)(99)

ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ, СТРУКТУРЫ И МОРФОЛОГИИ ЗАПАДНОГО ШЕЛЬФА АНТАРКТИЧЕСКОГО ПОЛУОСТРОВА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ТЕКТОНИЧЕСКИХ И ГЛЯЦИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Т.Р. Греку, канд. геол. наук

Институт геологических наук НАН Украины, e-mail: smgus@mail.ru

В статье изложены результаты структурно-тектонического анализа северной части Антарктического полуострова и его западного континентального шельфа. Определены основные факторы тектогенеза, сформировавшие геоморфологию региона. На основе приведенных в работе схем морфологических структур тектонического и гляциального генезиса удалось восстановить в разных пространственных масштабах блоковое строение шельфа, линии тока древних материковых ледников, составить классификацию продольных и поперечных разломов на шельфе.

Analysis of the formation structure and the morphology of Antarctic Peninsula west shelf resulting from tectonic and glaciological investigations. T.R. Greku

Results of the structural-tectonic analysis of Northern Antarctic Peninsula and its western continental shelf's are presented at the article. Main factors of the tectogenesis that generated geomorphology of region are determined. Block composition of shelf and paleoflow's lines are reconstructed to different spatial scales on the basis of morphological structure's and glacial genesis's schemes, that are presented at the paper. Classification of longitudinal and transverse faults is developed.

Вивчення особливостей формування, структури й морфології західного шельфа Антарктичного півострова за результатами тектонічних та гляціологічних досліджень. Т.Р. Греку

У статті викладені результати структурно-тектонічного аналізу північної частини Антарктичного півострова і його західного континентального шельфу. Визначено основні фактори тектогенеза, що сформували геоморфологію регіону. На основі наведених у роботі схем морфологічних структур тектонічного і гляціального генезису вдалося відновити в різних просторових масштабах блокову будову шельфу, лінії току древніх материкових льодовиків, скласти класифікацію подовжніх і поперечних розламів на шельфі.

Введение

В статье изложены результаты исследования участка Западной Антарктики – Антарктического полуострова, а именно Земли Грейама и прилегающей с запада континентальной окраины. Современная тектоническая структура района Западной Антарктики начала свое формирование около 160 млн. лет назад с момента раскола суперконтинента Гондвана. Антарктический полуостров является одним из пяти блоков Западной Антарктики [14], которые перемещались к месту своего современного положения и имеют свою геологическую историю. Особенности развития и структуры исследуемого района обусловлены положением континентального блока Антарктического полуострова в области взаимодействия с океаническими плитами – Тихоокеанской и Скоша. Давление со стороны океанических плит, сжатие, деформации привели к формированию сети продольных и поперечных разломных зон, блоковой структуры Антарктического полуострова и его шельфа.

Исследования в области тектоники и геоморфологии Антарктики проводились Л.П. Зоненшайном [9], Г.Э. Грикуровым [5], А.В. Живаго [8], А.В. Ильиным [10], В.Е. Хаиным [12], П.Ф. Гожиком [3], В.Г. Бахмутовым [1], R. Fifield [15], I.W.D. Dalziel [14] и др. Ими были изучены вопросы геохронологии, раскола и движения материков (на основе теории движения плит), описана структура Антарктического региона в целом, систематизированы сведения о геологии пород.

В Антарктике видимая топография материка тесно увязана с проблемами гляциологии. Ледовый покров на большей части территории скрывает коренной рельеф и вызывает прогибание земной коры – как на материке, так и на шельфе. На морской поверхности ледовая обстановка, помимо сезонных вариаций, в определенной мере зависит также от топографии дна. Крупные льдины и айсберги задерживаются на мелководье и в ловушках береговой линии, создавая скопления, которые могут сохраняться несколько сезонов и влиять на изменение океанографической и биологической ситуации [16].

В последние годы на международных конференциях по изучению Антарктики большое внимание уделяется вопросам динамики ледового покрова на фоне геологических процессов с целью прогнозирования эволюции полярных регионов и климата Земли в целом. Инструментарием в решении этих вопросов является

оценка морских и континентальных гляцио-геоморфологических индикаторов и положения линий токов древних ледников.

Материалы и методы

Источниками информации о рельефе морского дна для исследуемого района (для обширных территорий) являются:

цифровая модель высот и глубин ETOPO2, созданная Национальным центром геофизических данных США (National Geophysical Data Center);

цифровая модель высот GTOPO30 (U.S. Geological Survey USGS);

«Антарктическая цифровая база данных» (Antarctic Digital Database, ADD), созданная под эгидой международного «Научного комитета исследований Антарктики» (SCAR).

Созданные нами на основе вышеуказанных цифровых моделей векторные карты разного масштаба позволили проанализировать широкий спектр количественных характеристик рельефа (углы наклона, площади, распределение характерных и экстремальных глубин, азимутальное направление склонов, линии вогнутых и выпуклых перегибов), а также построить профили, гистограммы и тематические схемы.

Для определения и анализа перегляциальных форм рельефа были использованы геоморфологические данные, полученные в ходе советских антарктических экспедиций (1982–1983, 1986–1987 гг.) [3], данные по геологии, данные эхолотного промера, полученные в ходе украинских антарктических экспедиций [4].

Результаты исследования

На рисунке 1 показана структурно-тектоническая схема района Антарктического полуострова (Земля Грейама), построенная по результатам сглаживания данных модели ETOPO2. Сглаживание позволяет исключить более мелкие особенности рельефа и выявить основные топографо-батиметрические и тектонические структуры регионального масштаба. На схеме указаны разломы Шеклтон, Анверс и Херо, поперечные структуре континентальной окраины Антарктического полуострова, четыре разломных зоны, продольных по отношению к полуострову, формирующих структуру региона, – все они отнесены нами к

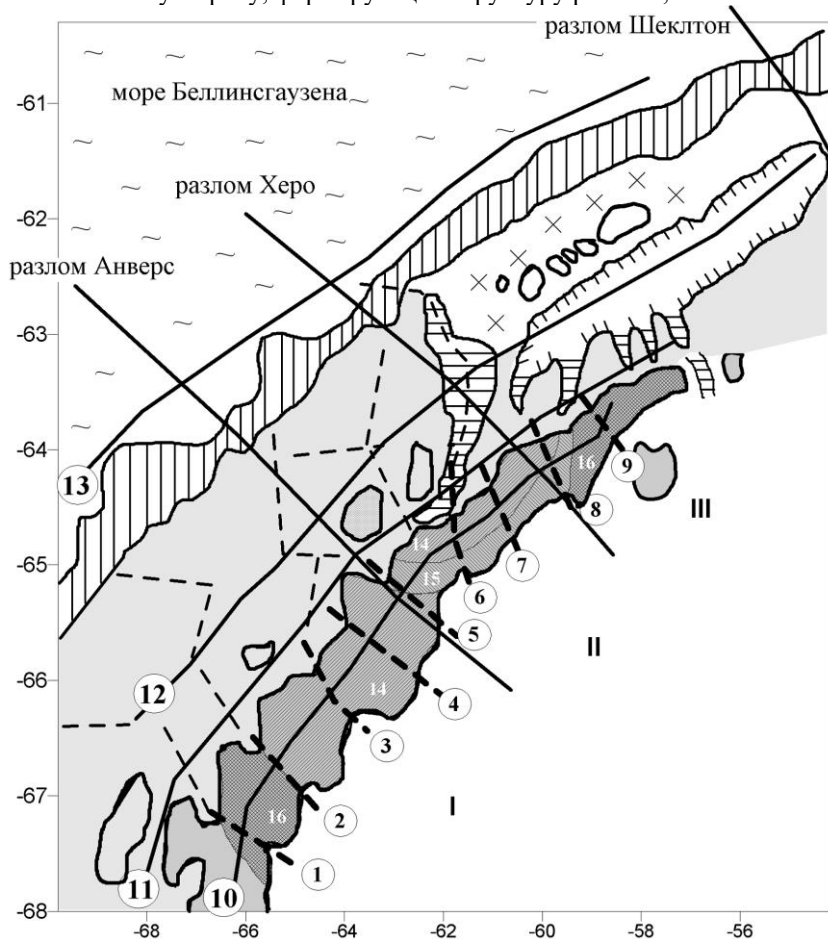
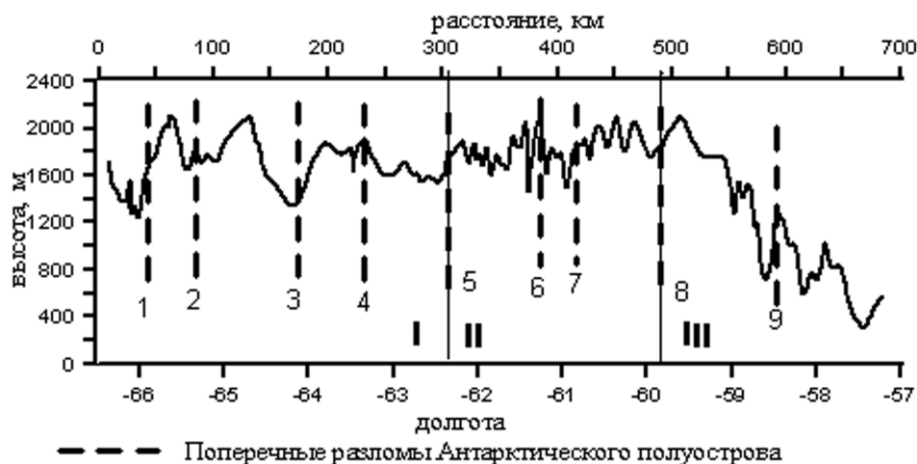


Рис. 1. Структурно-тектоническая схема района Антарктического полуострова (Земля Грейама). Поперечные разломы Антарктического полуострова: 1 – Лаллеманд; 2 – Дарбел; 3 – Барилари; 4 – Бескочае; 5 – Фландрес; 6 – Брабант; 7 – Палмер; 8 – Тринити; 9 – Расселл. Продольные разломные зоны на Антарктическом полуострове и его западном шельфе: 10 – линия свода гор Антарктического полуострова; 11 – внутреннего шельфа; 12 – внешнего шельфа; 13 – основания материкового склона; I, II, III – сектора Антарктического полуострова и континентальной окраины, ограниченные разломами Анверс, Херо и Шеклтон.

Условные обозначения:

- | | |
|---|-----------------------------|
| — разломные зоны 1-го порядка, продольные и поперечные к структуре Антарктического полуострова | ▨ материковый склон |
| - - - поперечные разломы 2-го порядка | ~ ложе океана |
| ⊗ антиклинорий Южных-Шетландских островов | ⊖ рифтовый грабен Брансфилд |
| ▨ синклиноральная зона тихоокеанского фланга шельфа Антарктического полуострова | ▨ центральный антиклинорий |
| ▨ экзарационные желоба, приуроченные к крупным разломам | |
| 14 мезозойско-раннекайнозойский габбро-гранитный интрузивный комплекс (Грикуров, 1973) | |
| 15 крупные дифференцированные интрузии мезозойских траппов (Грикуров, 1973) | |
| 16 средне-позднепалеозойский геосинклиальный комплекс в зонах ранней консолидации мезозонд (Грикуров, 1973) | |

разломным зонам 1-го порядка. Также на схеме указаны девять поперечных разломов на Антарктическом полуострове и связанные с ними поперечные разломы на шельфе 2-го порядка. Продолжения разломов Анверс и Херо проведены схематично и являются границами трех секторов (I, II, III), показанных также на рис. 2.



— — — Поперечные разломы Антарктического полуострова

Рис. 2. Рельеф видимой поверхности Антарктического полуострова (Земля Грейама). Профиль проведен по максимальным отметкам горного массива полуострова. Положение профиля показано на рис. 1, линия 10. Условные обозначения см. на рис. 1.

В пределах Антарктического полуострова и его акватории выделены три основных морфологических элемента: 1 – центральная часть – антиклинорная зона Земли Грейама и Земли Палмера; 2 – западная синклиноральная зона – шельф моря Беллинсгаузена; 3 – синклиноральная зона, включающая восточное побережье Земли Грейама и шельф моря Уэдделла [5].

Структура западной синклиноальной зоны, включающая шельф и материковый склон, формировалась во взаимодействии с Тихоокеанской плитой. Спрединг восточного фланга Тихоокеанской плиты обусловил формирование зоны субдукции на границе с западной континентальной окраиной Антарктиды.

Западная континентальная окраина Антарктического полуострова в интервале широт 61°–68° ю.ш. разделена крупным поперечным разломом Херо на два сектора – «активный» и «пассивный» (см. рис. 1). «Активный» сектор представлен тремя крупными формами: разломом пролива Брансфилд, дугой Южных Шетландских островов и Южно-Шетландским желобом. Эта область сформировалась в результате тектонической и вулканической деятельности, которая привела к формированию рифтоподобной структуры пролива Брансфилд, поднятию Южных Шетландских островов, образованию подводных хребтов и островных групп в северной акватории Антарктического полуострова на стыке с южной ветвью дуги Скоша. Морфологическими особенностями «активного» сектора являются большие глубины – до 2628 м, а также короткие и глубокие поперечные желоба. «Пассивный» сектор расположен юго-западнее [7].

Наиболее крупные древние (раннекайнозойские) разломы Шеклтон, Херо и Анверс разделяют восточную окраину тихоокеанского сектора Антарктической плиты на микроплиты Феникс и Анверс. Эти же разломы предопределили формирование крупных блоков на внешнем шельфе [17].

Разломы Шеклтон, Херо и Анверс выделялись ранее только на океаническом дне. Нами установлено, что они также прослеживаются по крупным желобам на материковом склоне, на западном шельфе полуострова, где выражены поперечными разломами 2-го порядка с простиранием юго-восток–северо-запад. В рельефе Антарктического полуострова эти разломы определяют границы секторов I, II, III (см. рис. 1, 2), различающихся характером расчлененности рельефа.

Разломные зоны западного шельфа Антарктического полуострова, условия их формирования и характеристики. Спрединг восточного фланга тихоокеанского сектора Антарктической плиты предопределил формирование продольных разломных зон материковой окраины Антарктического полуострова. В исследуемом районе выражены четыре продольных разломных зоны, простирание которых юго-запад – северо-восток (см. рис. 1).

Наиболее древняя разломная зона расположена в основании материкового склона и переходит на северо-востоке в Южно-Шетландский глубоководный желоб. Образование этой разломной зоны связано с раскрытием

пролива Дрейка, поэтому ее возраст не может быть древнее 10–15 млн. лет. Продольная разломная зона внешнего шельфа, которая трассируется на рифт Брансфилд, имеет возраст немного моложе, вероятно, в интервале 7–8 млн. лет. Самой молодой является продольная разломная зона внутреннего шельфа. Это доказывается резкостью и крутизной бортов образовавшегося грабена, так называемой «морфологической молодостью». Также по линии продольной разломной зоны внутреннего шельфа сформировался не сплошной грабен, а несколько нестыкованных участков.

Блоковая структура материковой окраины сформировалась в процессе ее дробления. Некоторые из поперечных разломов шельфа 2-го порядка были заложены при формировании продольной разломной зоны на внешнем шельфе, а большая часть – на внутреннем. Поэтому их возраст должен быть различным, но не более 5 млн. лет. Основанием для этого служит морфология опущенных блоков грабеноподобных разломных зон, пересекающих желоба выводных ледников. Последние могли сформироваться при максимальном выдвигании края ледникового щита. Подтверждением этого является продолжение трогов выводных ледников линиями поперечных разломов.

Разломная зона внутреннего шельфа представляет собой область с расчлененным дном и цепью замкнутых депрессий. Преобладающая глубина 300–600 м, в отдельных точках 800 м и более 1000 м, перепады глубин достигают 150–400 м, выделяются глубокие впадины, сформированные на пересечении продольных и поперечных разломов.

Разломная зона на внешнем шельфе менее выразительна, чем на внутреннем, и имеет прерывистый характер. Ее ширина 30–40 км. Она расположена между полосой среднего шельфа, заполненной островами и мелководьями с глубинами 100–200 м и крупными моренными образованиями, структурными равнинами и грядами, поверхность которых проходит на глубине от 300–350 до 400 м. Положение разломной зоны внешнего шельфа подтверждают данные электрорезонансного зондирования (ЭРЗ), полученные в украинской антарктической экспедиции 2004 года. Схемы широтных разрезов, построенные на основе данных электрорезонансного зондирования, отражают внутреннюю структуру земной коры западной континентальной окраины полуострова мощностью до 6 км. На схемах разрезов показаны отдельные стратиграфические подразделения земной коры и глубины их залегания. Поверхность фундамента прогнута в области разломной зоны внутреннего и внешнего шельфа на 1 и 2 км соответственно. Фундамент включает в себя интрузивные тела, а под разломной областью внутреннего шельфа выделены зоны растяжения и разогрева [2].

Поперечные желоба на шельфе ориентированы субширотно и субмеридионально, их ширина десятки километров. Самыми глубокими являются внутренние сегменты желобов, глубина которых превышает 1000 м. По направлению к краю шельфа глубины желобов уменьшаются до 400 м.

Основные черты ледового морфогенеза. Начавшиеся в миоцене (25 млн. лет назад) периоды оледенения и потепления также оказывали свое влияние на формирование рельефа. Важный вклад в исследование гляциогенеза внесли работы М.Г. Гросвальда [6], Г.Г. Матишова [11] и J.B. Anderson [13].

Образование мощного ледового покрова и его периодическое отступление (дегляциация) сопровождалось соответствующим опусканием и подъемом поверхности дна. Результатом этого являются глубокий шельф, а также дополнительное дробление тектонической структуры континентальной окраины и горного массива Антарктического полуострова, образование более мелких разломов, которые мы наблюдаем в настоящее время. Также поверхность шельфа подвергалась процессам экзарации движущимся шельфовым ледником, скоростью которого была от 20 до 100 м/год [11]. Кроме того, поверхность дна подвергалась процессам аккумулятивного отложения и вымывания желобов ледниково-мутьевыми потоками на окраине шельфа.

Таким образом, сформировалась следующая структурная зональность континентальной окраины Антарктического полуострова, характерная для древних областей оледенения: внутренний шельф соответствует зоне преобладающей экзарации дна, средний шельф – зоне неравномерной эрозии и аккумуляции, внешний шельф – зона преобладающей аккумуляции. Построенная нами схема (рис. 3), характеризующая постледниковый рельеф дна, показывает структуру региона, линии тока древнего ледника, морфологические особенности рельефа дна.

Для внутреннего шельфа характерны наименьшие глубины 200–300 м, расчлененность дна, фиордовые заливы, грабеноподобные ложбины, мелководные микроблоки, на которых сосредоточены группы архипелагов. На расстоянии около 40 км от берега развита экзарационная равнина. Наличие большого количества мелких островов и подводных скал послужило для названия внутреннего шельфа «бугристым» [3]. Многочисленные подводные трог, являющиеся продолжениями выводных ледников, пересекают внутренний шельф. Они образовались во время максимального выдвигания материкового ледника к внешней границе шельфа. Помимо этого, имеется много линейных понижений, обозначенных нами как разломы 3-го и 4-го порядка.

Средний шельф является переходной зоной между внутренним и внешним шельфом. Рельеф дна среднего шельфа более выровнен в сравнении с внутренним, то есть на нем значительно слабее выражены экзарационные формы рельефа. Подводные желоба редки, они трассировали наиболее мощные выводные ледники в периоды разрастания ледникового щита. Имеются глубокие ложбины ледникового выпаживания и вымывания. В отличие от ледниковых трогов в их образовании принимали участие и водные потоки по трещинам в теле ледника. На наличие аккумулятивных (друмлиноподобных) форм в области среднего и внешнего шельфа указывали ранее П.Ф. Гожик [3] и J.B. Anderson [13]. Для среднего шельфа характерно наличие крупных подводных поднятий, поверхность которых проходит на глубине около 150 м.

Внешний шельф представляет собой слабо расчлененную равнину с пологими холмами и возвышенностями, имеющую наклон дна в сторону полуострова. Пологие холмы и возвышенности являются большей частью моренными массивами. Для внешнего шельфа характерно также наличие большого количества

округлых, вытянутых депрессий дна, желобов, созданных ледником и талыми водами. На самом краю внешнего шельфа развиты конечные гряды и ложбины стока талых вод, открывающиеся на материковый склон.

На материковом склоне образовались ложбины, созданные суспензионными потоками, наиболее крупные из которых заложены по зонам тектонических нарушений. Со временем их форма вырабатывалась потоками, поступающими с верхних гипсометрических уровней шельфа и склона. Выделяются два крупных желоба, которые приурочены к разломным системам Анверс и Херо. Они прослеживаются до глубин 3800 м. Между ними образовались крупные холмы с превышением над дном желобов в сотни и даже тысячу метров. Обращает на себя внимание и ломаная с острыми выступами, заливами бровка шельфа.



Рис. 3. Карта-схема постгляциальной морфологической структуры дна западного шельфа Антарктического полуострова.

Условные обозначения:

- Антарктический полуостров, прилегающие острова;
- 1** - внутренний шельф - зона экзарации (бугристый шельф);
- 2** - средний шельф - зона неравномерной эрозии и слабой аккумуляции;
- 3** - внешний шельф - зона преобладающей аккумуляции;
- границы материкового склона: а - верхняя граница I ступени (бровка шельфа); б - подножие II ступени (основание материкового склона);
- 4** - аккумулятивные и структурные равнины;
- замкнутые депрессии; - моренные гряды и холмы;
- выводные ледники; - возвышенности глубиной 150-300 м;
- ложбины тока талых вод (при максимальном оледенении) и суспензионных потоков (при нынешнем положении уровня моря);
- подводные ледниковые трюги; **5** - мелководные цоколи;
- друмлинноподобные формы; - линии тока древнего ледника;

Таким образом можно утверждать, что рельеф континентального блока Антарктического полуострова формировался под сопряженным воздействием тектонического и гляциологического факторов. Гляциологический фактор проявлялся не только в экзарационном преобразовании шельфа выводными ледниками, аккумуляцией айсбергового материала, но и влиянием ледниковой нагрузки, приведшей к активизации подвижек по разломам и опусканию коренного ложа.

Выводы

Полученные результаты структурно-тектонического и геоморфологического анализа позволяют сделать следующие выводы.

Шельф западной части Антарктического полуострова сформировался под влиянием как тектонических факторов, определивших геологическую структуру пограничной зоны тихоокеанского сектора Антарктической плиты с антиклиналью полуострова, так и факторов гляциологических, которые проявились в развитии разных топографических форм ледниковой экзарации и аккумуляции для внутреннего, среднего и внешнего шельфа.

Восстановлена система и предложена классификация продольных и поперечных разломов на шельфе. К разломным зонам 1-го порядка отнесены наиболее крупные продольные и поперечные (по отношению к структуре Антарктического полуострова) тектонические нарушения внутреннего и внешнего шельфа, основания материкового склона и Антарктического полуострова. Они определили особенности морфологической структуры региона. Поперечные разломы шельфа 2-го порядка установлены по геоморфологическим данным и являются результатом совместной работы первичного тектонического и вторичного гляциального факторов. Они в основном совпадают с линиями тока выводных ледников на шельф, поэтому их названия даны по наименованиям ледников на полуострове. Разломы 3-го порядка образовались на стадии последнего выдвигания ледникового щита к внешней границе шельфа.

Составление подробной схемы морфологических структур тектонического и гляциального генезиса позволило восстановить на разных пространственных масштабах блоковое строение шельфа и линии тока древних материковых ледников.

Работа выполнена с использованием данных, предоставленных участниками украинских антарктических экспедиций: сотрудниками Института геологических наук НАН Украины, компании ЕКОММ, Морского гидрофизического института НАН Украины, Университета «Львовская политехника», Научно-технического центра панорамных акустических систем НАН Украины, НВП «Геопром».

Литература

1. **Бахмутов В.Г.** Геологические и палеомагнитные исследования в Западной Антарктике (район Аргентинских островов) и их значение для палеотектонических реконструкций Антарктического полуострова // Бюл.УАЦ. – 2002. – Вып 4. – С. 11–24.
2. **Геологічна** будова літосферного сегменту Західної Антарктики в районі станції Академік Вернадський за даними геолого-геохімічних та супутникових досліджень: Звіт про НДР (проміжний) / ІГН НАНУ. – №Н/1-2004. – К., 2004. – 20 с.
3. **Геология** и металлогения Южного океана / П.Ф. Гожик, Г.Н. Орловский, Л.И. Митин / Под ред. Е.Ф. Шнюкова. – К: Наук. думка, 1991. – 192 с.
4. **Греку Т.Р.** Роль ледового морфогенеза и тектоники в формировании западного шельфа Антарктического полуострова: Дис... канд. геол. наук: 04.00.10. – К., 2005. – 150 с.
5. **Грикуров Г.Э.** Геология Антарктического полуострова. М.: Наука, 1973. – 119 с.
6. **Гросвальд М.Г.** Оледенение континентального шельфа Антарктиды // Антарктика. – 1980. – Вып. 19. – С. 55–79.
7. **Дубинин Е.П.,** Кирсанова Е.Л. Рельеф дна, глубинное строение и эволюция литосферы эписубдукционных переходных зон // Геоморфология зон перехода от континентов к океанам. – М.: РАН. ДВО. Тихоокеанс. ин-т географии. – 1998. – С. 90–96.
8. **Живаго А.В.** Проблемы геоморфологии Южного океана. – М.: Ин-т геогр. АН СССР, 1971. – 128 с.
9. **Зоненшайн Л.П.** Дрейф континентов и позднекайнозойское оледенение Антарктиды // Антарктика. – 1980. – Вып. 19. – С. 5–15.
10. **Ильин А.В.** Геоморфология дна Атлантического океана. – М.: Наука, 1976. – 232 с.
11. **Матишов Г.Г.** Дно океана в ледниковый период. – Л.: Наука, 1984. – 176 с.
12. **Ханн В.Е.** Региональная геотектоника. – М.: Недра, 1971. – 548 с.
13. **Anderson J.B.** Antarctic marine Geology. – Cambridge University Press, 1999. – 286 p.
14. **Dalziel I.W.D.,** Elliot D.H. West Antarctica: problem child of Gondwanaland // Tectonics. – 1.– 1982. – P. 3–19.
15. **Fifield R.** International research in the Antarctic. Published for the Scientific Committee on Annarctic Research (SCAR) and the ICSU Press by Oxford University Press. 1987. 145 p.
16. **Greku T.R.** Extention and types of sea ice with the ERS-1 scatterometry in surroundings of the Antarctic Peninsula // Бюл. УАЦ. – 2002. – Вып.4. – С. 153–156.
17. **Sroda P.** Three-dimensional modelling of the crustal structure in the contact zone between Antarctic Peninsula and South Pacific from seismic data // Polish Polar Research. – 2001. – Vol. 22. – P. 129–146.