

*На правах рукописи*



Прошкина Зоя Николаевна

**СТРУКТУРА И СЕЙСМИЧНОСТЬ ЗОНЫ  
ТЕКТОНИЧЕСКОЙ ДЕСТРУКЦИИ ФРОНТАЛЬНОГО  
СКЛОНА ЦЕНТРАЛЬНЫХ КУРИЛ  
ПО ГЕОФИЗИЧЕСКИМ ДАННЫМ**

Специальность 25.00.28–Океанология

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук

Владивосток–2018

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Тихоокеанском океанологическом институте им. В. И. Ильичёва Дальневосточного отделения Российской академии наук.

**Научный руководитель:**

доктор геолого-минералогических наук, Кулинич Руслан Григорьевич

**Официальные оппоненты:**

доктор геолого-минералогических наук,  
Петрищевский Александр Митрофанович (ИКАРП ДВО РАН)

доктор геолого-минералогических наук  
Мартынов Юрий Алексеевич (ДВГИ ДВО РАН)

**Ведущая организация:** Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН

Защита состоится «19» октября 2018 г. в 11 ч. 00 мин. на заседании диссертационного совета Д005.017.02 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Тихоокеанском океанологическом институте им. В. И. Ильичёва Дальневосточного отделения Российской академии наук по адресу: ул. Балтийская, д. 43, г. Владивосток, 690041.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Федерального государственного бюджетного учреждения науки Тихоокеанского океанологического института им. В. И. Ильичёва Дальневосточного отделения Российской академии наук и на сайте института <http://poi.dvo.ru/drupal/edu/disslist>.

Автореферат разослан «02» июля 2018 г.

Ученый секретарь диссертационного совета

кандидат географических наук



Храпченков Федор Фомич

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность исследования.** Как известно, Курильская островная система является следствием и внешним проявлением конвергенции двух литосферных плит: Тихоокеанской и Северо-Американской. В этом регионе происходят активные геодинамические процессы, сопровождающиеся вулканизмом и землетрясениями. С одной стороны, это дает важнейшую информацию для понимания источников и механизмов формирования геологических структур различного типа, с другой - существование такого активного пояса является источником природных катастроф, вызванных вулканической деятельностью, сильными землетрясениями и цунами. Все это явилось причиной уже длительного многостороннего исследования Курильской островной системы, которые остаются актуальными и по настоящее время.

В пределах указанной островной системы уже давно выделен центральный район, ограниченный на юго-западе проливом Буссоль, а на северо-востоке проливом Крузенштерна (Удинцев, 1960). Различные аспекты его строения изучались с 50х-60х годов прошлого столетия. В работах того времени отмечалась повышенная сложность морфологии дна (Власов, 1964) и отличие Центральных Курил от их флангов по вещественному составу (Сергеев, 1976). Геофизические работы, начатые здесь в рамках Международного геофизического года (1957-1958 г.г.) и Проекта верхней мантии Земли (1960-1970 г.г.), позволили наметить обособленность этого района по характеру гравитационного и магнитного полей (Воробьев, Кочергин и др., 1975; Гайнанов, Тулина и др., 1965; Гайнанов, Павлов и др., 1974), мощности, внутреннему строению земной коры и верхней мантии (Васильев, Суворов, 1979; Авдейко, Антонов и др., 1992; Вейцман, Гальперин и др., 1961; Зверев, Тулина, 1966; Косминская, 1963; Тулина, Миронова, 1964; Строение земной коры..., 1964). В дополнение к этому, на фоне общей сейсмической активности Курильской островной системы в пределах её центрального звена С.А. Федотовым (Федотов, 1965) было отмечено долговременное отсутствие сильнейших землетрясений. В сейсмологии такое состояние рассматривается, как признак накопления литосферных напряжений, которые со временем должны реализоваться тектоническими деформациями, землетрясениями и, возможно, цунами. В силу этого сейсмическое затишье в Центральных Курилах сделало этот район потенциально опасным.

Импульсом для новой активизации геолого-геофизического изучения этого района послужило катастрофическое землетрясение в Индийском океане, вблизи северной оконечности о. Суматра (26.12.2004 г.), где также существовало длительное сейсмическое затишье. Подобные события могли произойти и в районе Центральных Курил с последующими разрушительными процессами в Охотоморском нефтегазоносном районе.

Новый этап изучения названного Курильского района начался в 2005 г. по инициативе Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН (ИО) РАН. Проект был реализован в трех экспедициях Тихоокеанского океанологического института им. В.И. Ильичева (ТОИ) ДВО РАН на НИС «Академик М.А. Лаврентьев» (2005 г., рейс №37; 2006 г., рейс №41; 2010 г., рейс № 52). В задачу экспедиций входило изучение тектонического каркаса и других структурно-вещественных характеристик фундамента и осадочного чехла в пределах фронтального склона Курильской островной дуги от о. Уруп до о. Парамушир для оценки его сейсмогенного потенциала. На разных этапах исследования выполнялись в профильном и площадном варианте. В комплекс исследований вошли: сейсмические и сейсмологические методы, гравиметрия, магнитометрия, батиметрия и геологическое опробование морского дна (драгирование).

В результате выполненных работ было установлено, что фронтальный (океанский) склон Центральных Курил, подвергнут активному разрушению поперечной структурой растяжения рифтогенной природы. Располагающийся здесь подводный хребет Витязя и прогиб, отделяющий его от Курильской островной дуги, разрушены практически полностью (Лаверов, Лаппо и др., 2006; Кулинич, Карп и др., 2007). По геофизическим данным здесь фиксируются лишь разобщенные и погруженные на разную глубину блоки фундамента хребта Витязя (Кулинич, Карп и др., 2007; Кулинич, Валитов и др., 2012). В период указанных исследований в изучаемом районе произошли прогнозируемые (Федотов, Чернышев, 2002) землетрясения, очаги которых располагались в земной коре (Симуширские землетрясения: 15.11.2006 г. (M=8,3), 13.01.2007 г. (M=8,2), 3.03.2008 г. (M=6,5), 15.01.2009г. (M=7,4), 7.04.2009г. (M=6,9)). Это позволило расширить начатые исследования, дополнив их изучением возможной связи указанных землетрясений со структурой земной коры и блоковой раздробленностью фундамента, установленной здесь по геофизическим данным. Изучение такой связи важно для выяснения источников, причин и механизмов возникновения коровых разрушительных землетрясений. Немаловажным является выяснение условий и механизмов происхождения поперечной зоны тектонических разрушений. Для решения этой проблемы требуется дальнейшее изучение глубинного строения данного района, начатое в предшествующие годы. Все это определяет важность и *актуальность* исследований в данном направлении.

Решением перечисленных вопросов и задач в последние несколько лет занимались научные коллективы ТОИ ДВО РАН и ИО РАН. В этих исследованиях принимала участие и автор настоящей работы. Результатам указанных исследований посвящено достаточно большое количество публикаций, осветивших разные аспекты геолого-геофизических характеристик выявленной зоны (Баранов, 2013, 2016; Брусиловский, Баранов и др., 2014;

Брусиловский, Леликов и др., 2012; Карп, Бордиян и др., 2007; Кулинич, Карп и др., 2007; Кулинич, Валитов и др., 2012, 2015; Лаверов, Лаппо и др., 2006; Леликов, Цой и др., 2008; Леликов, Емельянова, 2008, 2011, 2014; Прошкина и др., 2017).

Однако анализ всей совокупности перечисленных публикаций, выполненный автором, показал существенную разобщенность в интерпретации геолого-геофизических материалов, а также недостаточное использование всего комплекса имеющихся данных для решения поставленных задач, что совершенно необходимо в условиях скрытости геологических объектов под водной толщей и недостаточной эффективности использования лишь отдельных геофизических методов.

В результате автор пришла к выводу, что по указанным причинам далеко не вся полезная информация извлечена из имеющихся геолого-геофизических данных. Это определило необходимость их повторного анализа и переинтерпретации с привлечением появившейся дополнительной информации для уточнения структурно-вещественных характеристик зоны тектонической деструкции фронтального склона Центральных Курил и её флангов на основе комплексного подхода к этому процессу. Выше изложенное определило формулировку цели и задач настоящей работы.

**Цель работы:** На основе комплексной интерпретации геофизических и геологических данных уточнить структурно-вещественные характеристики зоны тектонической деструкции в районе Центральных Курил, исследовать возможность корреляции коровой сейсмичности с погребенной блоковой структурой указанной зоны, определить возможность её связи с особенностями глубинного строения района Центральных Курил.

*Объектом исследования* является зона тектонической деструкции фронтального склона Центральных Курил. *Предмет исследования* – структура земной коры и её корреляция с коровой сейсмичностью зоны тектонической деструкции.

**Задачи исследований.** Для реализации указанной цели сформулированы следующие задачи:

- выполнить трансформацию и анализ корреляционной связи исходных гравитационного и магнитного полей, как основы для их комплексной интерпретации;
- построить структурно-геологическую схему зоны тектонической деструкции в соответствии с результатами комплексной интерпретации геофизических и геологических данных;
- на базе построенной структурно-геологической схемы выполнить анализ пространственной корреляции очагов Симуширских землетрясений, включая их

форшоковую и афтершоковую стадии, с блоковым строением зоны тектонической деструкции;

- по комплексу данных морской и спутниковой гравиметрии, а также глубинного сейсмического зондирования, выполненного Сахалинским комплексным научно-исследовательским институтом (СахКНИИ) в 1983-1984 г.г. построить карту изоглубин (рельефа) поверхности Мохоровичича (*Мохо*) и структурно-плотностные модели земной коры в зоне тектонических разрушений для оценки связи её формирования с глубинными геодинамическими процессами, гравитационной устойчивостью её блоковой структуры и потенциальной сейсмогенности.

Реализация перечисленных задач позволила сформулировать следующие **защищаемые положения**:

1. Определены новые структурно-вещественные характеристики зоны тектонической деструкции фронтального склона Центральных Курил, построена новая структурно-геологическая схема этого района. Это позволило значительно дополнить существующие представления о положении, общем облике и внутреннем строении указанной зоны.
2. Определена пространственная корреляция Симуширских землетрясений с блоковой структурой зоны тектонической деструкции фронтального склона Центральных Курил, что делает необходимым учитывать этот фактор при дальнейших сейсмологических исследованиях.
3. В зоне тектонической деструкции выявлено аномальное распределение плотности слоисто-блоковой структуры земной коры с участками инверсии этого параметра. Этот фактор создает гравитационную неустойчивость коровых структур, которая, с определенной долей вероятности, могла сыграть роль одного из пусковых механизмов Симуширского землетрясения 2006 г.
4. В основании зоны тектонической деструкции уточнен рельеф поверхности *Мохо*, показано существенное сокращение мощности земной коры и соответствующий подъем мантии. Это свидетельствует о возможной связи формирования указанной зоны с глубинными процессами в мантии.

**Научная новизна:**

1. Получены новые структурно-вещественные характеристики зоны тектонической деструкции фронтального склона Центральных Курил, на основе которых построена новая структурно-геологическая схема этого района.
2. Определена пространственная связь Симуширских землетрясений 2006-2009 г.г. с блоковой структурой зоны тектонической деструкции.

3. Впервые построены структурно-плотностные модели земной коры в пределах зоны тектонической деструкции фронтального склона Центральных Курил.
4. Выявлено аномальное распределение плотности в блоковой структуре земной коры рассматриваемой зоны с участками инверсии этого параметра. Впервые сделано предположение, что это могло стать источником гравитационной неустойчивости и сыграть роль одного из пусковых механизмов Симуширского землетрясения 2006 г.
5. Получены новые данные о мощности земной коры в районе Центральных Курил и его окрестностях, уточнен рельеф поверхности Мохо и соответствующего подъема мантии под зоной разрушения фронтального островного склона в этом районе.

**Научная и практическая значимость работы:** разрушение геологических сооружений фронтального склона Центральных Курил поперечной структурой рифтогенного типа само по себе является феноменом для зоны конвергенции Тихоокеанской и Северо-Американской литосферных плит. Выяснение причин и механизмов формирования этой структуры и её внутреннего строения является задачей фундаментального характера, поскольку даёт возможность получить новые знания о геодинамике и кинематике подобных активных зон. С другой стороны, результаты подобных исследований имеют и практическую значимость, поскольку дают новую информацию о связи опасных сейсмических событий с тектоникой данного района. Перечень задач, реализованных в настоящей работе, соответствует как фундаментальному, так и прикладному аспекту решаемой проблемы, что создает соответствующую значимость представляемой диссертации.

**Фактический материал и личный вклад автора.** В основу диссертации положены результаты работы автора в лаборатории гравиметрии Тихоокеанского океанологического института им. В.И. Ильичева ДВО РАН. Исследования выполнялись в рамках нескольких Программ:

1. Программа фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 годы, п.70 «Физические поля, внутреннее строение Земли и глубинные геодинамические процессы».

Тема: «Изучение геофизических полей, физических характеристик, геодинамического состояния и структуры геосфер дальневосточных морей, их связи с сеймотектоническими процессами и размещением полезных ископаемых».

2. Программа фундаментальных исследований Президиума РАН № 17:

Тема: «Исследование истории развития зоны деструкции центральной части Курильской островной дуги и «сейсмической бреши» в этом районе».

3. ФЦП «Мировой океан», подпрограмма «Исследование природы Мирового океана»:

Тема: «Исследование структуры, состава и эволюции литосферы, процессов рудогенеза Дальневосточных морей и западной части Тихого океана на основе натуральных наблюдений и моделирования.

Тема: «Комплексные исследования дальневосточных морей России и северной части Тихого океана для повышения эффективности морской деятельности и рационального природопользования» (ГК № 16.420.12.0012).

Фактическим материалом для выполненной работы послужили данные морской и спутниковой гравиметрии, гидромагнитометрии, непрерывного сейсмического профилирования, батиметрии и данные драгирования, полученные лабораториями отдела геологии и геофизики ТОИ ДВО РАН в экспедициях 2005-2010 г.г. Кроме этого, использованы опубликованные данные по глубинному сейсмическому зондированию (ГСЗ), выполненному в предшествующие годы в пределах центрального района Курильской островной дуги и её окрестностях различными организациями, прежде всего СахКНИИ, теперь Институт морской геологии и геофизики (ИМГиГ) ДВО РАН, а также Федеральным государственным унитарным научно-производственным предприятием (ФГУНПП) «СЕВМОРГЕО» и др. В работе также использована информация, опубликованная российскими и зарубежными авторами, решавшими различные аспекты геолого-геофизических и геодинамических проблем в районе Курильской островной системы.

В процессе подготовки данной работы автором самостоятельно сделано обобщение и анализ имеющихся геофизических и геологических данных. Выполнено численное структурно-плотностное моделирование земной коры и построены соответствующие модели в районе Симуширских землетрясений. Проведена комплексная интерпретация геолого-геофизических данных, полученных в районе фронтального склона Центральных Курил и его окрестностей с использованием корреляционного анализа геофизических полей и геологической информации, что позволило выявить новые особенности структурно-вещественных характеристик и глубинного строения этого района.

**Апробация работы и публикации.** Основные положения выполненной работы докладывались на международных конференциях: XX Международной научной конференции (Школы) по морской геологии «Геология морей и океанов» 18-22 ноября 2013 г.; 8-th Biennial Workshop on Japan-Kamchatka-Alaska Subduction Processes, Hokkaido University, Sapporo, 22-26 September 2014. На всероссийских конференциях: «Физика Геосфер», IX всероссийский симпозиум, 21-24 сентября, 2015, Владивосток; «Физика

геосфер» X всероссийский симпозиум, 2-8 октября, 2017, Владивосток. На молодежной конференции: «Природные катастрофы: Изучение, мониторинг, прогноз», VI Сахалинская молодежная научная школа, 3-8 октября 2016 г., Южно-Сахалинск, Россия.

Указанные исследования поддерживались грантами ДВО РАН, где автор была в коллективе исполнителей:

-Грант 09-0I-П17-08 «Исследование истории развития зоны деструкции центральной части Курильской островной дуги и «сейсмической бреши» в этом районе».

-Грант 12-III-A-07-120 «Геофизические поля, блоковая структура и сейсмическая активность Центральных Курил: исследование их взаимосвязи».

По теме исследования с участием автора опубликовано 4 статьи из списка, рекомендованного ВАК РФ для публикации материалов докторских и кандидатских диссертаций и 5 тезисов докладов на международных и всероссийских симпозиумах и конференциях.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из Введения, 4 Глав и Заключения, содержит 132 страницы текста, 34 рисунка, 2 таблицы, список литературы из 123 наименований.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

### **Глава 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ, ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ИЗУЧЕННОСТЬ КУРИЛЬСКОЙ ОСТРОВНОЙ СИСТЕМЫ И СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ**

В главе приводятся общие сведения о расположении района исследований (рис. 1), его основных морфоструктурах и геолого-геофизической изученности Курильской островной системы. Особое внимание уделено исследованиям, выполненным ТОИ ДВО РАН в период 2005-2010 г.г. на НИС «Академик Лаврентьев» (рейсы №№№ 37, 41, 52). Результаты этих исследований положены в основу настоящей диссертации. Здесь же сформулировано состояние проблемы и обоснована необходимость переинтерпретации полученных данных с целью выявления новых структурно-вещественных характеристик зоны тектонической деструкции фронтального склона Центральных Курил и ее обрамления.

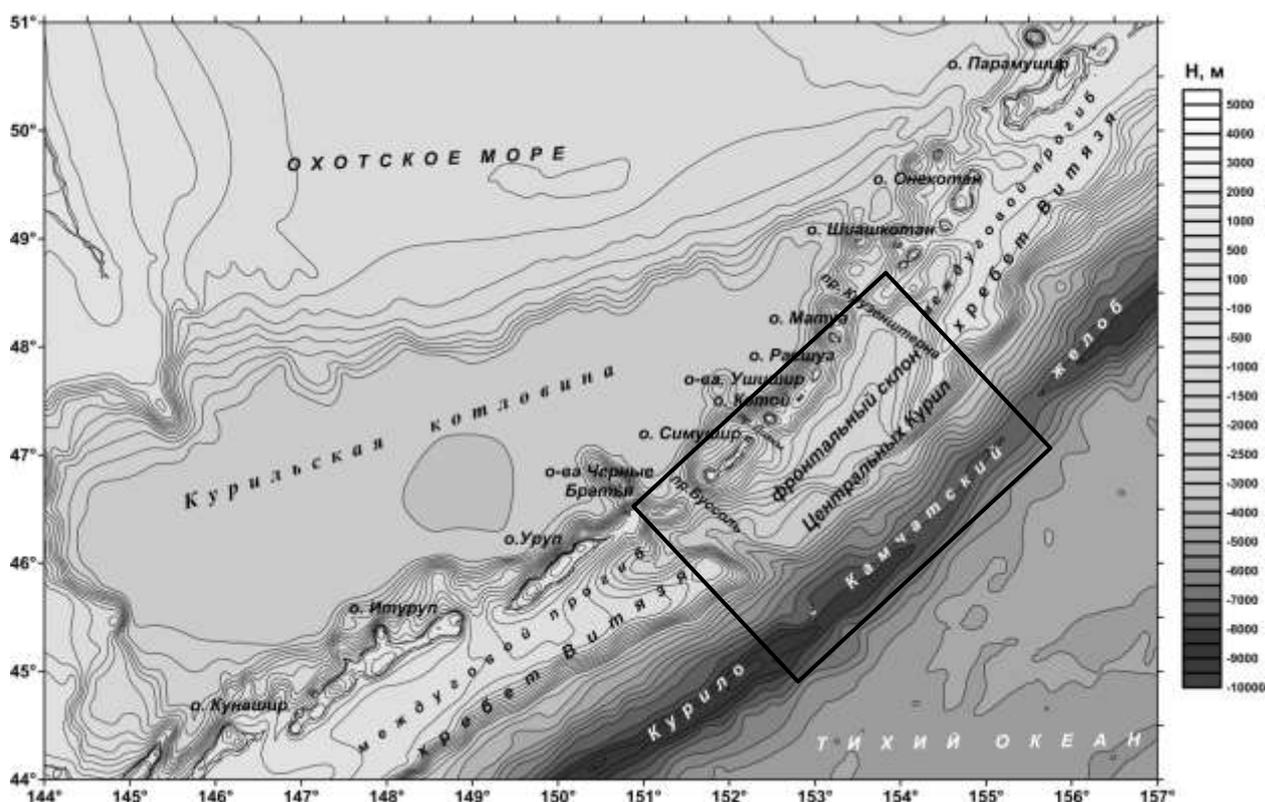


Рисунок 1 – Основные морфоструктуры Курильской островной системы.  
Черным прямоугольником выделен район исследования.

## Глава 2. ИСПОЛЬЗОВАННЫЙ МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

В разделе 2.1 перечислены источники используемых данных, в том числе результаты комплексных геолого-геофизических экспедиций 2005-2010 г.г. на НИС «Академик Лаврентьев» (рейсы №№№ 37, 41, 52).

В разделе 2.2 приводится описание методики обработки, преобразований и форма представления геофизических данных, использованных для геологической интерпретации. Обработка гравимагнитных измерений осуществлялась с использованием специализированного программного комплекса, разработанного в лаборатории гравиметрии ТОИ ДВО РАН (Колпащикова, Николаев, 2007). Помимо результатов морских измерений для решения поставленных задач использовались данные из базы Международного банка геофизических данных GEODAS (<http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/gdas/>). По результатам обработки батиметрических и геофизических данных строились карты гравитационных и магнитных аномальных полей, рельефа дна, акустического фундамента и мощности осадочных отложений.

Описана методика трансформации геофизических потенциальных полей для разделения источников их аномалий на региональные и локальные составляющие. На

основе указанных расчетов построены карты трансформант, которые в совокупности с картами исходных полей были использованы для их геологической интерпретации.

Описана методика корреляционного анализа тесноты связи между гравитационным и магнитным полями. На этой основе построена карта коэффициента корреляции ( $r$ ) и составлена таблица возможных геологических источников гравитационных и магнитных аномалий в зависимости от знака их корреляции.

В целом, методика комплексной геологической интерпретации геофизических полей предусматривала определение пространственного положения и природы каждого выделяемого объекта по совокупности его отражения во всех геофизических полях с учетом результатов геологического опробования.

В разделе 2.3 описана методика расчетов глубины залегания поверхности Мохо и построения соответствующей карты, а также методика плотностного и структурно-плотностного моделирования земной коры района исследований. Для расчетов глубины залегания поверхности Мохо использована статистическая связь мощности земной коры с величиной осредненных гравитационных аномалий, мощности донных осадков и глубины морского дна, рассчитанная в лаборатории гравиметрии ТОИ ДВО РАН для сложных морфоструктурных условий исследуемого района (Кулинич, Заболотников и др., 1989; Валитов, 2009; Кулинич, Валитов и др., 2007):

$$H = d + a\Delta g_{св.в.} - bh_a - ch_{oc} ,$$

где  $H$  – глубина залегания поверхности  $M$ , км;  $\Delta g_{св.в.}$  – аномалия в свободном воздухе, мГал;  $h_a$  – глубина морского дна, м;  $h_{oc}$  – мощность осадочного слоя м;  $a, b, c$  – коэффициенты при независимых переменных,  $d$  – свободный член.

В рамках плотностного моделирования в качестве структурного каркаса были использованы скоростные сейсмические разрезы, полученные для данного района в 80х годах прошлого века (Аносов, Аргентов и др., 1988; Злобин, 1987; Злобин, Костюкевич и др., 1991; Злобин, Пискунов и др., 1987). В этом варианте в интерактивном процессе участвовали только величины плотности объектов геологической среды. Структурно-плотностное моделирование выполнялось в условиях недостаточного объема сейсмических данных, когда в интерактивный процесс вовлекаются не только плотности, но и плотностные границы. Во всех случаях трансформация скоростных разрезов в плотностные производилась с использованием региональной статистической зависимости «скорость-плотность», рассчитанной в лаборатории гравиметрии ТОИ ДВО РАН (Валитов, 2009; Никифоров, Кулинич и др., 2013; Кулинич, Валитов и др., 2015).

Моделирование выполнялось в двухмерном (2D) варианте с использованием программы, разработанной в лаборатории гравиметрии ТОИ ДВО РАН, в основу которой

положены разработки В.Н. Страхова (Страхов, Лапина, 1982), основанные на вычислении гравитационного эффекта от двухмерных тел, поперечное сечение которых аппроксимируется многоугольником (Колпащикова, 2007).

### **Глава 3. СТРУКТУРА ЗЕМНОЙ КОРЫ И СЕЙСМИЧНОСТЬ РАЙОНА ЦЕНТРАЛЬНЫХ КУРИЛ**

В главе представлены уточненные структурно-вещественные характеристик и основных геологических сооружений изучаемого района, пересмотрена связь его сейсмичности с блоковой структурой на основе комплексной интерпретации геолого-геофизических данных

В разделе 3.1 излагаются технология и итоги указанной интерпретации.

К основным результатам выполненной работы отнесено следующее:

- в пределах фундамента неразрушенных сегментов хребта Витязя выделены участки с преимущественным распространением вулканоплутонических формаций базитового ряда, представленных базальтами, андезибазальтами, андезитами и их глубинными аналогами. Помимо этого определены контуры участков фундамента, вероятно сложенных кремнисто-терригенным комплексом, включающим кремнистые алевроаргиллиты, алевролиты, песчаники, а также вулканоплутоническими формациями кислого ряда, включая граниты позднемелового и эоценового возраста, поднятые при драгировании в экспедициях ТОИ ДВО РАН в 2005-2010 г.г. (Леликов, Емельянова, 2014);

- подтверждена юго-западная граница зоны деструкции хребта Витязя и уточнено её северо-восточное ограничение; уточнена структурно-вещественная блоковая характеристика этой зоны; выделены участки межблоковых впадин, заполненных слаболитифицированными осадочными и вулканогенно-осадочными отложениями;

- выделено обширное поле вулканогенных и осадочно-вулканогенных отложений, занимающих всю северо-западную половину зоны разрушения и простирающееся сюда от о. Симушир; среди вулканогенных отложений выделены единичные и сгруппированные вулканические постройки и скрытые магматогенные массивы базитового состава. Всё это является признаком активного магматизма, сопровождавшего тектонические процессы в период формирования и дальнейшей эволюции рассматриваемой деструктивной зоны;

- сделан вывод, что часть района Центральных Курил, расположенная северо-восточнее тектонической зоны грабена Буссоль, в истории своего формирования и последующего развития подвергалась более активным разрушительным тектономагматическим процессам, чем его юго-западный сегмент. С этой точки зрения зона

грабена Буссоль является внешним проявлением важнейшей для данного района тектонической структуры, выполнявшей и выполняющей роль барьера, по разные стороны от которого менялся характер геодинамического режима, тектонических и магматических процессов.

На этой основе составлена структурно-геологическая схема (рис. 2), которая представляет собой новый вариант подобных построений, сделанных ранее (Лаверов, Лаппо и др., 2006; Кулинич, Карп и др., 2007; Леликов, Емельянова, 2011, 2014; Брусиловский и др., 2012, 2014).

В разделе 3.2 рассмотрена связь сейсмичности с установленной геофизическими методами блоковой структурой района Центральных Курил. Для этого использованы следующие материалы: Каталог землетрясений, составленный Национальным центром информации о землетрясениях Геологической Службы США NEIC USGS (<http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/index.php>); карты гравитационных и магнитных аномалий, а также карта рельефа акустического фундамента, полученные в экспедициях 2005-2010 г.г. и наглядно отражающие блоковую структуру района исследований.

Совмещение эпицентров Симуширских землетрясений 2006-2009 г.г. с указанными картами показало, что во всех случаях они располагаются в зонах градиентов геофизических полей. Это чаще всего соответствует тектоническим контактам разнородных геологических объектов (тектонических блоков). Один из примеров демонстрируется на рис. 3.

Визуальный (рис. 4) и кластерный (рис. 5) анализы пространственного распределения афтершоков, происходивших в течение недели после главных событий, выявили особенности их размещения на островном склоне и в пределах желоба (Кулинич, Валитов и др., 2012). В первом случае большая часть афтершоков располагается в пределах поперечной зоны деструкции и имеет относительно рассеянный характер, отражая сложную картину блоковой раздробленности этого участка. Их остальная часть располагается только северо-восточнее этой зоны, охватив ближайшие бортовые участки хребта Витязя. За пределами юго-западной границы зоны деструкции (грабен пролива Буссоль) афтершоки практически отсутствуют. Это свидетельствует, что блоковая неустойчивость к моменту указанного события имела место только северо-восточнее грабена Буссоль, в зоне сейсмического затишья и северо-восточнее – вдоль простираения Курильской системы дуга-желоб.

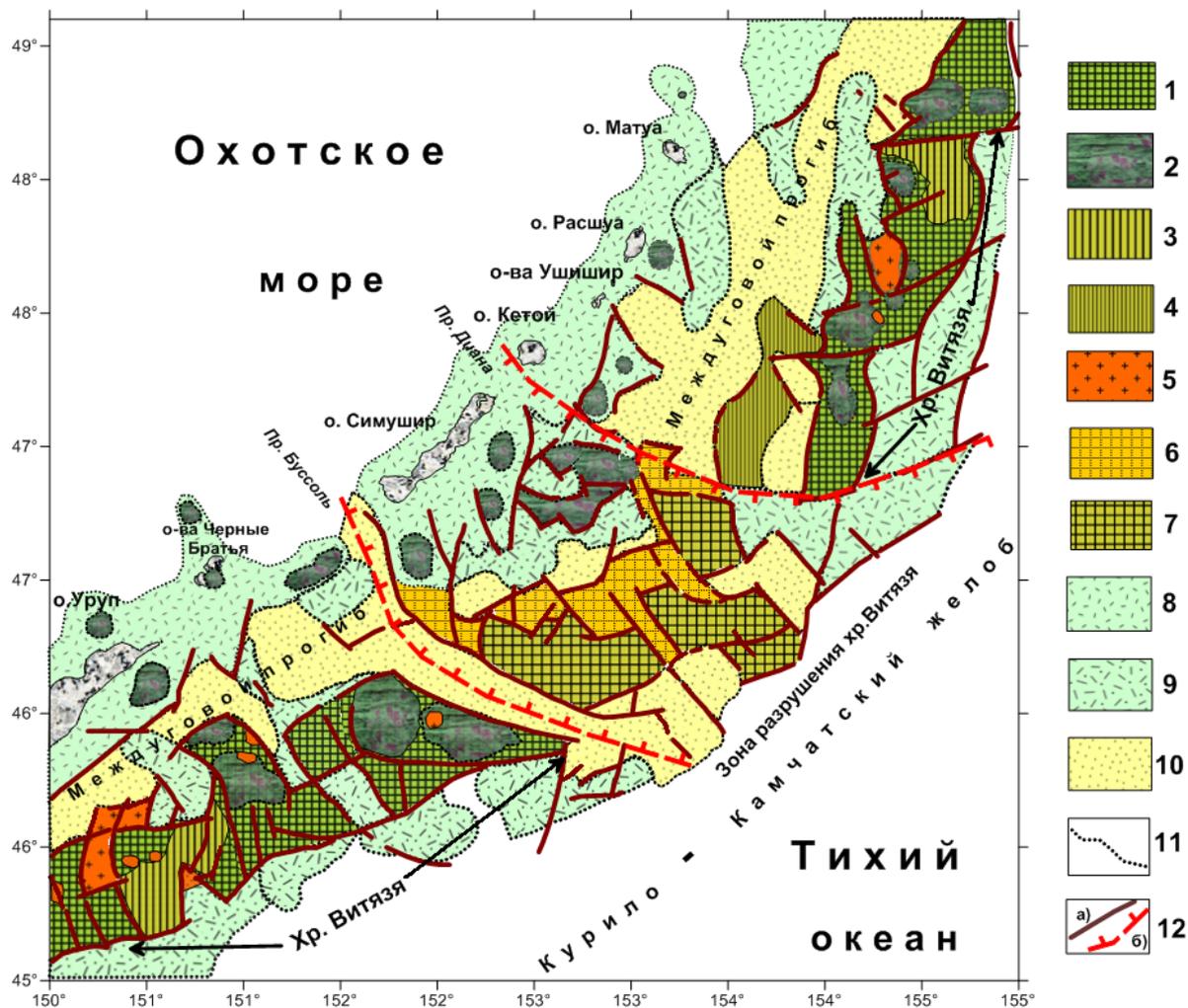


Рисунок 2 – Структурно-геологическая схема зоны деструкции фронтального склона Центральных Курил и ее флангов (составила Прошкина, 2018).

1 – фундамент хр. Витязя, представленный преимущественно магматогенными формациями базитового ряда (базальты, андезибазальты, андезиты, дациты, андезидациты, туфы андезита, туфоконгломераты, туфобрекчии); 2 – вулканические центры (базальты, андезибазальты, андезиты) или скрытые магматические массивы базитового состава; 3 – участки фундамента хр. Витязя, представленные геологическими формациями сиалического ряда (диорит-порфиры, граниты, кристаллический сланец, кремнистые алевроаргиллиты, алевролиты, песчаники); 4 – выступы сиалического фундамента (диорит-порфиры, граниты, кристаллический сланец, кремнистые алевроаргиллиты, алевролиты, песчаники); 5 – граниты в фундаменте хр. Витязя; 6 – неглубокое залегание консолидированного фундамента в зоне разрушения хр. Витязя; 7 – блоковые выступы консолидированного фундамента в зоне разрушения хр. Витязя; 8 – подводный магматогенный пьедестал островов Курильской гряды (четвертичные андезитовые формации, формации зеленых туфов); 9 – слабо литифицированные осадочно-вулканогенные отложения (туфопесчаники, туфодиазомиты, туфогенно-кремнистые породы); 10 – слаболитифицированные осадочные отложения; 11 – границы осадочных и вулканогенно-осадочных прогибов; 12 – а) разломы, б) зона максимальной деструкции.

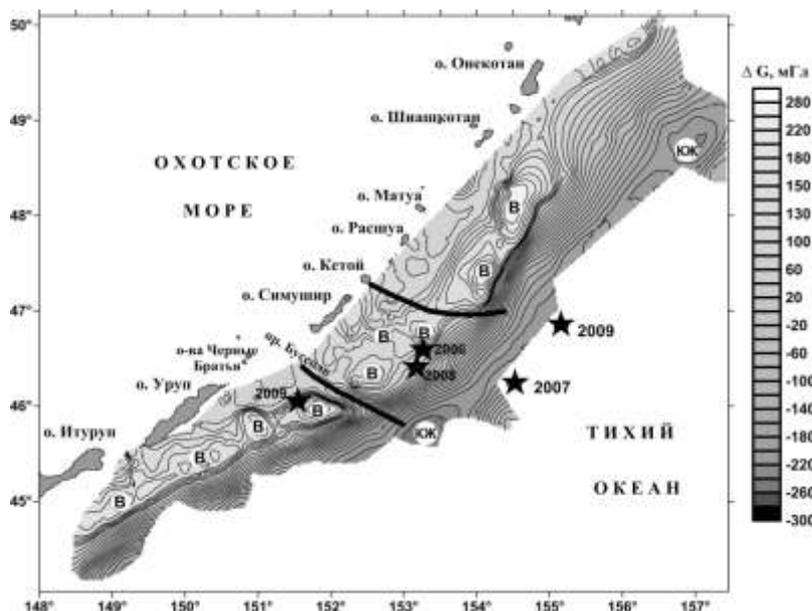


Рисунок 3 – Гравитационные аномалии в свободном воздухе, блоки фундамента хр. Витязя и эпицентры основных толчков землетрясений 2006-2009 г.г.

В – блоки фундамента подводного хребта Витязя; КЖ – Курильский желоб. Жирные черные линии – границы зоны активной тектонической деструкции фронтального склона Центральных Курил. Звездочками обозначены эпицентры главных землетрясений.

Зона афтершоков, располагающаяся в пределах Курило-Камчатского желоба, состоит из двух групп эпицентров, обособляющихся вблизи будущих сильных землетрясений 2007 и 2009 г.г. На этой основе сделан вывод, что афтершоки Симуширского землетрясения 2006 г. могли стать форшоками для землетрясений 2007 и 2009 г.г.

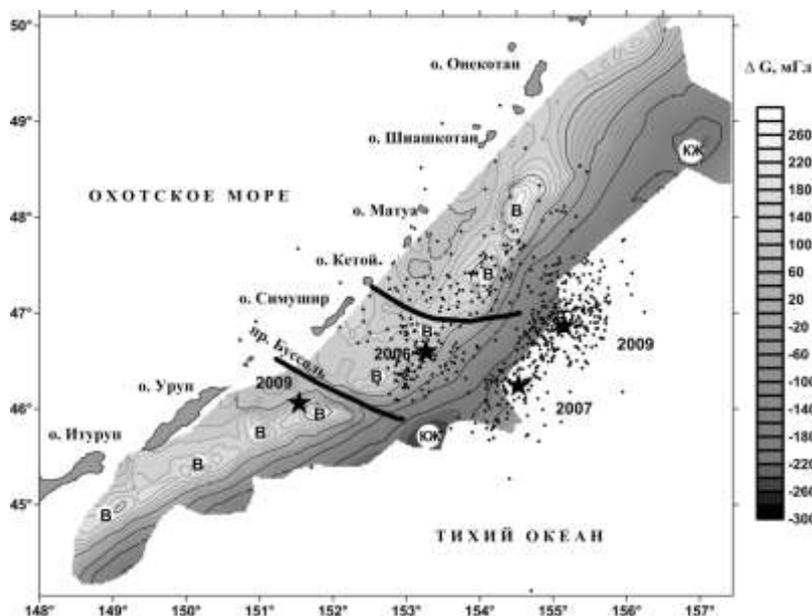


Рисунок 4 – Афтершоки землетрясений 2006 г. в поле гравитационных аномалий в свободном воздухе и блоковой структуре. Другие условные обозначения см. на рис. 3.

Анализ распределения эпицентров землетрясений ( $M \geq 4$ ) в период 1996-2017 г.г., т.е. до и после Симуширских событий, показал, что при общей высокой сейсмоактивности Курильской островной дуги их наиболее плотное распределение приурочено к

выделяемой нами зоне наиболее интенсивной деструкции морфоструктур фронтального склона Центральных Курил (рис. 6).

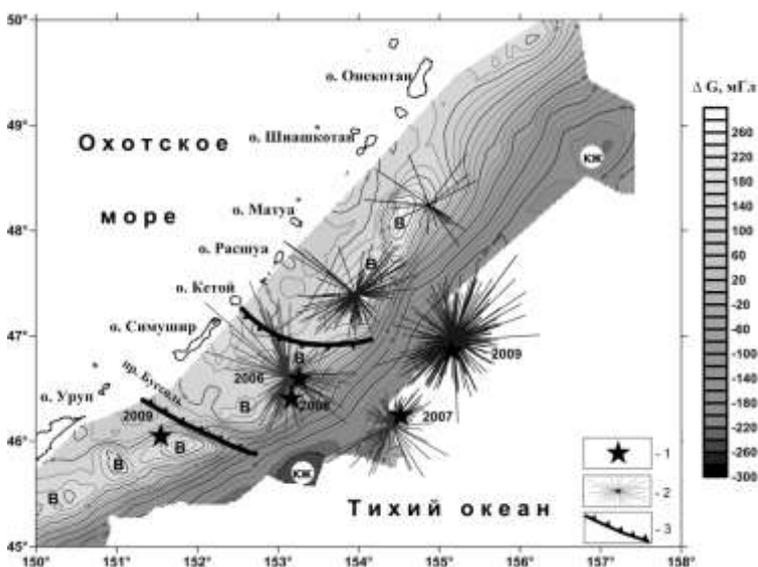


Рисунок 5 – Кластеры афтершоков землетрясения 2006 г. в поле гравитационных аномалий в свободном воздухе и блоковой структуре. 1 – эпицентры основных толчков землетрясений, 2 – кластеры, 3 – границы зоны активной тектонической деструкции фронтального склона Центральных Курил. Другие условные обозначения см. на рис. 3.

Совокупность показанных землетрясений образует почти правильный четырехугольник, ортогонально ориентированный к Большой Курильской гряде. Все это еще раз объективно подтверждает ранее сделанный вывод о существовании здесь зоны тектонической деструкции, секущей основные структуры Курильской островной системы (Лаверов, Лаппо и др., 2006).

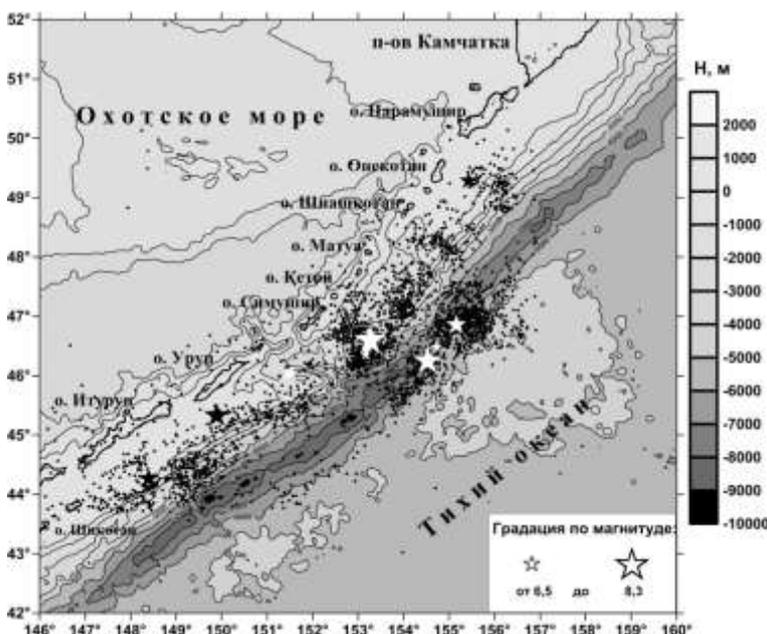


Рисунок 6 – Эпицентры землетрясений ( $M \geq 4$ ) за период 1996-2017 г.г. и рельеф дна Курильской островной системы. Звездочками обозначены эпицентры землетрясений с  $M \geq 6,5$ .

Совмещение эпицентров коровых землетрясений ( $H \leq 40$  км,  $M \geq 4$ ) с новой структурно-геологической схемой рассматриваемого района показывает, что подавляющее их количество концентрируется в зоне тектонической деструкции и на её продолжении в пределах океанского склона глубоководного желоба (рис. 7). Сюда же добавлены землетрясения за период с 1900 г. по 2017 г. с  $M \geq 6,5$  и глубиной гипоцентров



прогиб, отделяющий подводный хребет Витязя от Большой Курильской гряды, и другие межблоковые впадины практически асейсмичны.

Таким образом, выполненная комплексная интерпретация позволила выявить новые структурно-вещественные особенности фронтального склона Центральных Курил, построить новую структурно-геологическую схему и определить новые признаки пространственной корреляции коровой сейсмичности этого района, включая Симуширские землетрясения, с его блоковой структурой.

#### Глава 4. ГЛУБИННОЕ СТРОЕНИЕ ЗОНЫ ДЕСТРУКЦИИ ФРОНТАЛЬНОГО СКЛОНА ЦЕНТРАЛЬНЫХ КУРИЛ

В главе рассмотрено глубинное строение зоны деструкции фронтального склона Центральных Курил.

В разделе 4.1 представлена карта изоглубин поверхности Мохо (рис. 8), охватывающая обширный район, включающий помимо Курильской островной дуги, прилегающие части Охотского моря и Тихого океана. На карте показано, что на фоне утолщенной коры Курильских островов и подводного хребта Витязя (24-26 км) в пределах рассматриваемой деструктивной зоны фиксируется локальное уменьшение глубины залегания поверхности Мохо до 16-18 км с соответствующим подъемом мантийных масс и полным отсутствием признаков существования хребта Витязя.

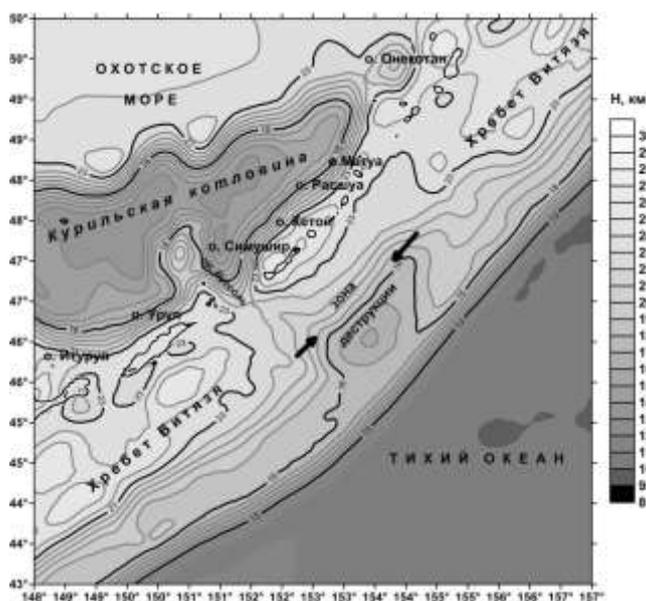


Рисунок 8 – Карта изоглубин поверхности Мохо центрального звена Курильской островной системы и примыкающей акватории. Черными стрелками показано положение зоны деструкции фронтального склона Центральных Курил.

В разделе 4.2 приведены структурно-плотностные модели земной коры исследуемого района. Для этой цели было использовано плотностное и структурно-плотностное моделирование, методика которого описана в главе 2.

Моделирование выполнено вдоль трех профилей. Два из них (рис. 9, пр. 1 и 2) совмещены с профилями глубинного сейсмического зондирования, отработанными в 1983-1984 г.г. вдоль и вкрест простирания Курильской островной гряды (Аносов, Аргентов и др, 1988; Злобин, 1987; Злобин, Злобина и др., 1991; Злобин, Костюкевич и др., 1991; Злобин, Поплавская и др., 2009) Третий профиль расположен в пределах океанского склона Курильской островной дуги вкрест простирания изучаемой зоны тектонической деструкции (рис. 9, пр. 3). В качестве структурной опоры этот профиль имеет лишь нескольких реперных точек, снятых с профилей глубинного сейсмического зондирования (пр.2, 2-ДВ-М, 1-ОМ), отработанных здесь разными организациями в предшествующие годы и пересекающих исследуемый профиль в нескольких местах (Аносов, Аргентов и др, 1988; Злобин, 1987; Злобин, Костюкевич и др., 1991; Злобин, Поплавская и др., 2009; Сакулина, Каленич и др., 2011, Сеначин, Веселов и др., 2013).

В разделе 4.2.1 дается поэтапное описание процесса плотностного моделирования и подробное описание полученных моделей. Для трансформации скоростных сейсмических разрезов в плотностные использована региональная статистическая зависимость «скорость-плотность», опубликованная в работах (Валитов, 2009; Никифоров, Кулинич и др., 2013; Кулинич, Валитов и др., 2015).

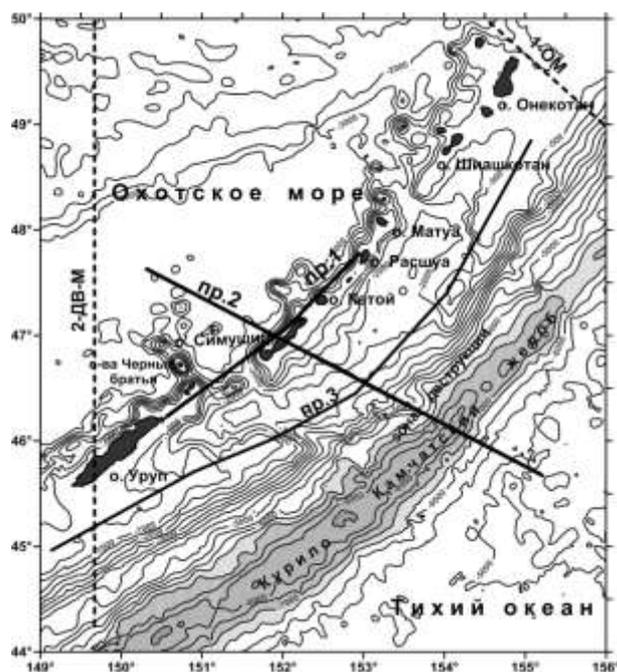


Рисунок 9 – Схема расположения профилей, использованных для построения структурно-плотностных моделей. Пунктирными линиями показаны профили ГСЗ, использованные для моделирования пр.3 (Сакулина, Каленич и др., 2011).

Полученная в результате моделирования *плотностная модель профиля 1* (рис. 10) характеризуется «нестандартным» распределением плотностей в разрезе и аномально активным рельефом поверхности Мохо. Сюда, прежде всего, относится наличие в верхней и средней части коры слоев с плотностью нижнекоровых и мантийных масс  $3,0-3,2 \text{ г/см}^3$  (блоки I, II и V) и инверсия плотности в нижележащих слоях разреза. Однако наиболее

экзотичным является субвертикальный блок с относительно низкой плотностью, пронизывающий практически всю литифицированную толщу коры в центре профиля (блок III).

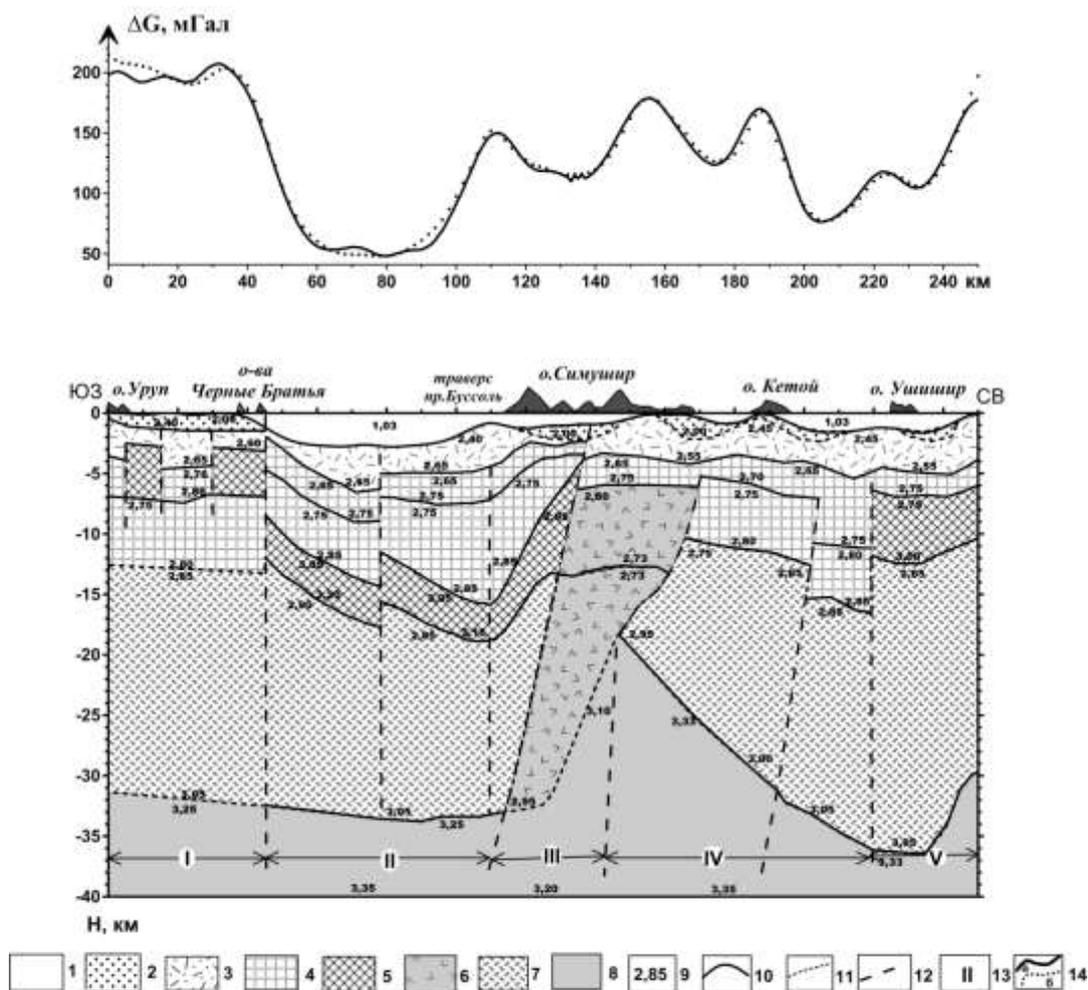


Рисунок 10 – Плотностная модель сейсмического профиля 1 и её геологическая интерпретация.

1 – водный слой, 2-6: плотностные слои и блоки, их геологическая интерпретация: 2 – рыхлые осадки, 3 – слабо литифицированные осадочно-вулканогенные комплексы, 4 – верхняя консолидированная кора: литифицированные и метаморфизованные осадочно-вулканогенные комплексы, интрузивные комплексы от кислого до основного состава; 5 – комплексы с аномально высокой плотностью предположительно базит-гипербазитового состава, 6 – блок с аномально низкой плотностью неизвестной природы, 7 – нижняя кора («базальтовый» слой), 8 – мантия, 9 – плотности ( $\text{г/см}^3$ ), 10 – сейсмические границы, трансформированные в границы «плотностных блоков»; 11 – границы «плотностных блоков», внесенные в модель на участках, где отсутствовали сейсмические данные; 12 – границы «скоростных блоков» по Злобину и др., (Злобин, Поплавская и др., 2009); 13 – номера «скоростных блоков»; 14 – аномальное гравитационное поле в свободном воздухе: а – наблюдаемое, б – расчетное.

Как видно, рассматриваемый профиль демонстрирует аномально сложную структурно-вещественную ситуацию, сложившуюся в районе о.Симушир, как следствие активных тектономагматических процессов, возможно имевших место на стадии формирования поперечной деструктивной зоны.

Общий структурный облик коры на профиле 2 (рис. 11) менее «эксцентричен», чем на профиле 1.

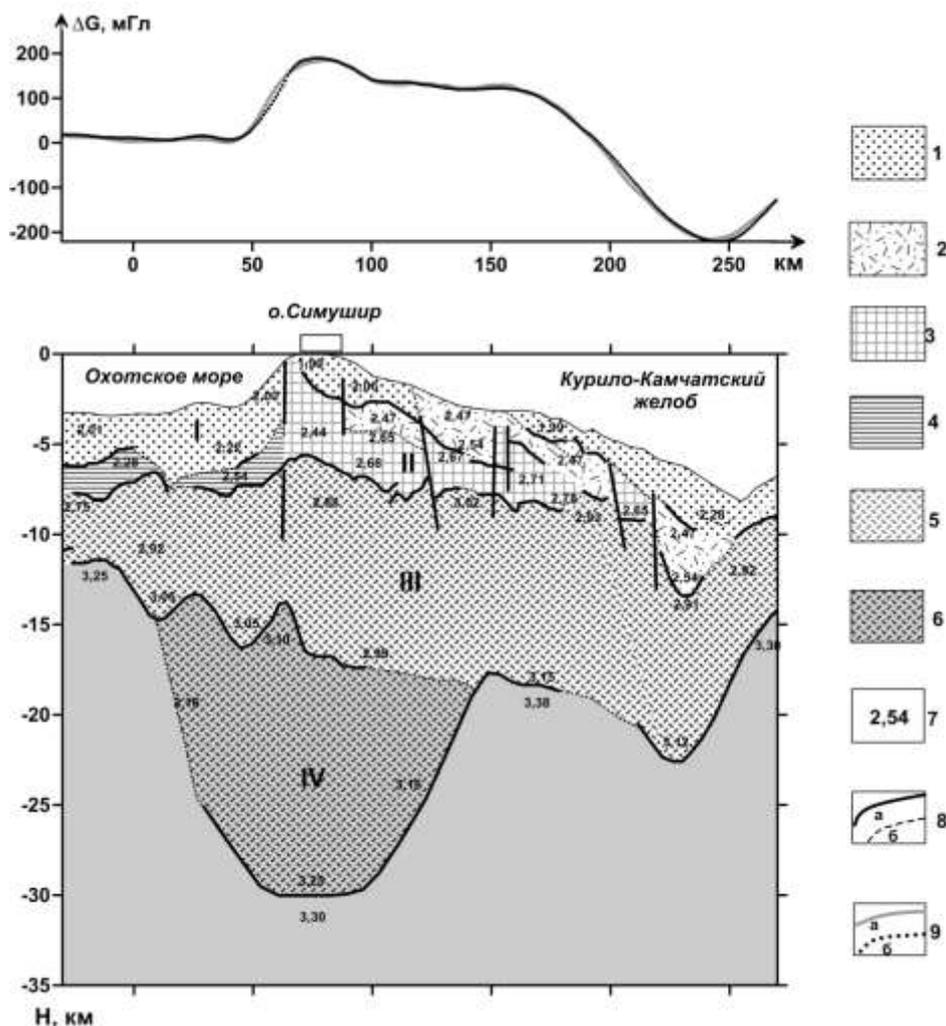


Рисунок 11 – Плотностная модель сейсмического профиля 2 и её геологическая интерпретация.

1-5: плотностные слои, блоки и их геологическая интерпретация: 1 – рыхлые и слаболитифицированные осадочные отложения, 2 – вулканогенно-осадочные комплексы, 3 – верхняя консолидированная кора в пределах океанского островного склона: литифицированные и метаморфизованные осадочно-вулканогенные и интрузивные комплексы от кислого до основного состава; 4 – фундамент осадочных отложений неопределенного состава в Курильской котловине, 5 – нижняя кора («базальтовый» слой), 6 – нижняя кора, уплотненная, 7 – плотности ( $\text{г/см}^3$ ), 8 – а) сейсмические границы, трансформированные в границы «плотностных блоков», б) границы «плотностных блоков», внесенные в модель на участках, где отсутствовали сейсмические данные; 9 – аномальное гравитационное поле в свободном воздухе: а) наблюдаемое, б) расчетное.

Однако внутреннее строение коры и здесь имеет свои аномальные особенности. Как и на профиле 1, здесь, прежде всего, отмечается нестандартное распределение высоких плотностей по глубине разреза. В северо-западной, Курило-Охотоморской половине профиля в подошве 3-го слоя зафиксированы плотности, сопоставимые с мантийными. В средней части разреза наблюдается присутствие целой серии разломов, что свидетельствует об активной структурно-вещественной блоковой раздробленности этой части разреза. Это объясняется существованием здесь рассматриваемой рифтогенной зоны. Примечательным является местный подъем поверхности Мохо под фронтальным склоном островной дуги на отрезке профиля 150-200 км. Такой же подъем демонстрирует и карта изоглубин поверхности Мохо, приведенная выше. Все это еще раз свидетельствует о связи подъема мантийных масс с формированием в этом месте наложенной рифтогенной структуры.

На основании выполненного плотностного моделирования делается вывод, что земная кора исследуемого района до землетрясений 2006-2009 г.г. имела сложное слоисто-блоковое строение с аномальным структурно-вещественным распределением корового вещества. Это выразилось в существовании инверсии сейсмических скоростей и соответственно плотности на целом ряде участков профилей 1 и 2, отработанных в 80-е годы прошлого века. Этот фактор должен вызывать гравитационную неустойчивость коровых структур, что впоследствии могло сыграть роль одного из пусковых механизмов Симуширского землетрясения 2006 г.

В разделе 4.2.2. описана структурно-плотностная модель земной коры зоны тектонической деструкции фронтального склона Центральных Курил, демонстрирующая глубинный профиль зоны разрушения хребта Витязя (рис. 12).

Модель демонстрирует существенное сокращение общей мощности земной коры под зоной деструкции до 19-20 км, в то время как на флангах, под сохранившимся хребтом Витязя, она достигает 25 км. Сокращению коры сопутствует соответствующий подъем мантийных масс.

По итогам выполненного исследования можно сделать вывод, что обнаруженная ранее зона деструкции в районе Центральных Курил привела к активному разрушению подводного хребта Витязя и междугового прогиба, отделяющего его от Большой Курильской гряды. Фиксируемое здесь сокращение мощности земной коры и подъем верхней мантии позволяют полагать, что формирование зоны деструкции явилось следствием и внешним проявлением геодинамических процессов в мантии.

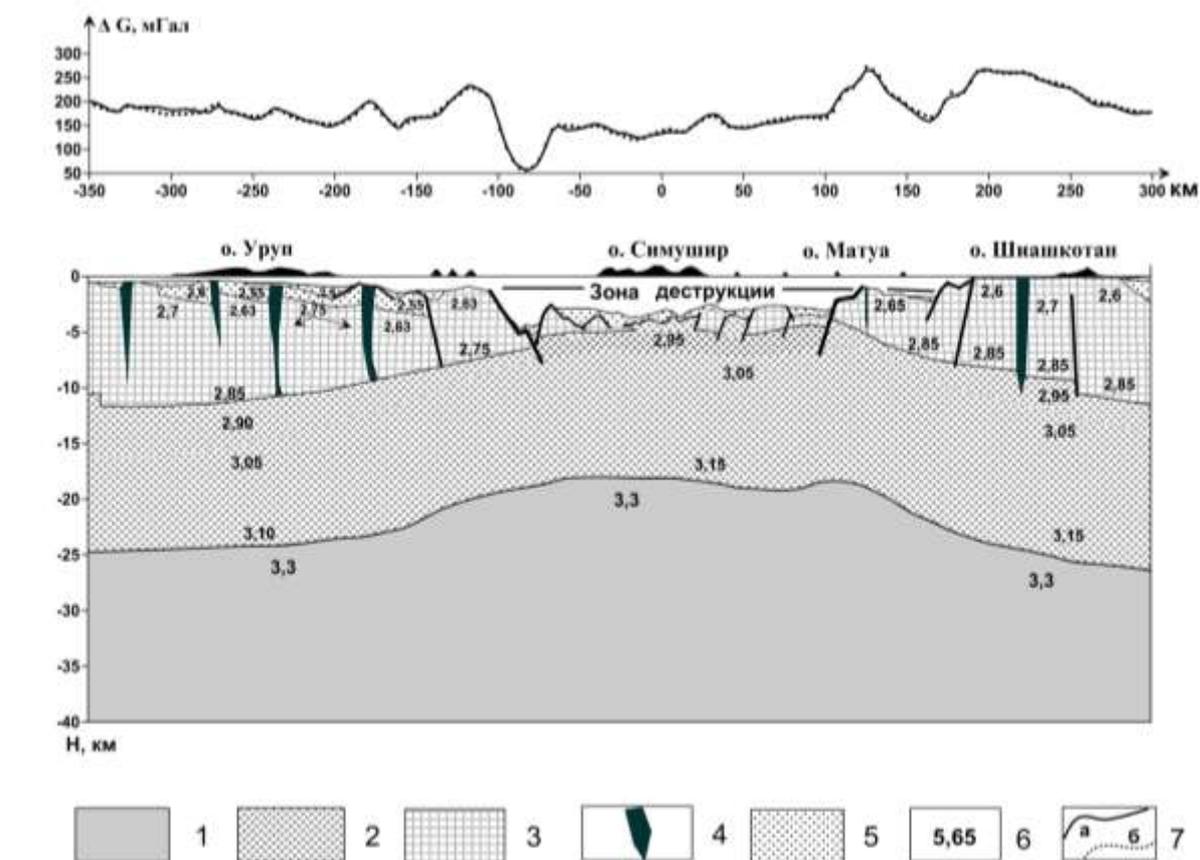


Рисунок 12 – Структурно-плотностная модель земной коры зоны разрушения подводного хребта Витязя (пр.3) и её геологическая интерпретация (Прошкина, 2016).

1 – мантия, 2 – нижняя кора («базальтовый слой»), 3 – верхняя кора («гранитный слой»), 4 – предполагаемые базитовый интрузии, 5 – осадочный слой; 6 – значения плотностей ( $\text{г}/\text{см}^3$ ); 7 – аномальное гравитационное поле в свободном воздухе: а) наблюдаемое, б) расчетное.

**В Заключение** сформулированы основные результаты диссертационной работы:

- в пределах фундамента неразрушенных сегментов хребта Витязя выделены участки с преимущественным распространением вулканоплутонических формаций базитового ряда, представленных базальтами, андезибазальтами, андезитами и их глубинными аналогами. Помимо этого определены контуры участков фундамента, вероятно сложенных кремнисто-терригенным комплексом, включающим кремнистые алевроаргиллиты, алевролиты, песчаники, а также вулканоплутоническими формациями кислого ряда, включая граниты позднемелового и эоценового возраста;

- подтверждена юго-западная граница зоны деструкции хребта Витязя и уточнено её северо-восточное ограничение; прослежен общий контур этой наложенной структуры от глубоководного желоба до островов Симушир и Кетой, разрушившей не только подводный хребет Витязя, но и междуговой прогиб; получена новая структурно-вещественная блоковая характеристика этой зоны; выделены участки межблоковых

впадин, заполненных слаболитифицированными осадочными и вулканогенно-осадочными отложениями;

- выделено обширное поле вулканогенных и осадочно-вулканогенных отложений, занимающих всю северо-западную половину зоны разрушения и простирающееся сюда от о. Симушир; среди вулканогенных отложений выделены сгруппированные и единичные вулканические постройки и скрытые магматогенные массивы базитового состава. Всё это является признаком активного магматизма, сопровождавшего тектонические процессы в период формирования и дальнейшей эволюции рассматриваемой деструктивной зоны;

- по совокупности полученных данных построена новая структурно-геологическая схема района исследований;

- установлено, что часть района Центральных Курил, расположенная северо-восточнее тектонической зоны грабена Буссоль, в истории своего формирования и последующего развития подвергалась более активным разрушительным тектономагматическим процессам, чем его юго-западный сегмент. С этой точки зрения грабен Буссоль является внешним проявлением важнейшей для данного района тектонической структуры, выполнявшей и выполняющей роль барьера, по разные стороны от которого менялся характер геодинамического режима, тектонических и магматических процессов.

- определена пространственная корреляция коровой сейсмичности, включая Симуширские землетрясения, с блоковой структурой зоны тектонической деструкции и её флангов пределах фронтального склона Центральных Курил;

- сравнительным анализом результатов глубинного сейсмического зондирования и гравиметрии, включая сейсмогравитационное (структурно-плотностное) моделирование, в рассматриваемой зоне тектонической деструкции установлено аномальное распределение плотности слоисто-блоковой структуры земной коры с участками инверсии этого параметра. Указанный фактор должен создавать гравитационную неустойчивость коровых структур и мог сыграть роль одного из пусковых механизмов Симуширского землетрясения 2006 г.

- сделанные расчеты рельефа поверхности Мохо на площади изучаемого района и его окрестностей, а также структурно-плотностное моделирование земной коры показали значительный подъем мантии (до 5-6 км) и общую деформацию глубинных коровых и мантийных масс в пределах зоны тектонической деструкции; это может означать, что формирование этой зоны может быть связано с глубинными геодинамическими процессами.

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

*Статьи, опубликованные в изданиях из перечня ВАК:*

1. Кулинич Р.Г., Валитов М.Г., **Прошкина З.Н.** Геофизические поля, блоковая структура и сейсмическая активность Центральных Курил // Тихоокеанская геология. 2012. Т. 31, №6. С. 35-43.
2. Кулинич Р.Г., Валитов М.Г., **Прошкина З.Н.** Сравнительный анализ сейсмических и плотностных моделей земной коры Центральных Курил // Тихоокеанская геология. 2015. Т. 34, №6. С. 45-56.
3. **Прошкина З.Н.** О глубинном строении зоны разрушения хребта Витязя (Центральные Курилы) // Вестник ДВО РАН. 2016. №5. С. 36-42.
4. **Прошкина З.Н.**, Кулинич Р.Г., Валитов М.Г. Структура, вещественный состав и глубинное строение океанского склона Центральных Курил: новые детали // Тихоокеанская геология. 2017. Том 36, № 6. С. 44–55.

*Доклады и тезисы конференций:*

1. Валитов М.Г., **Прошкина З.Н.**, Кулинич Р.Г., Колпащикова Т.Н. Плотностные модели земной коры района Центральных Курил // Геология морей и океанов: Материалы XX Международной научной конференции (Школы) по морской геологии, 18-22 ноября 2013 г., Т. V. – М.: ГЕОС, 2013. С.46–50.
2. Кулинич Р.Г., Валитов М.Г., **Прошкина З.Н.** Гравитационная модель земной коры зоны деструкции Центральных Курил // «Физика геосфер» IX всероссийский симпозиум, 21-24 сентября, 2015, Владивосток. С. 317-319.
3. **Прошкина З.Н.** О глубинном строении зоны разрушения хребта Витязя (Центральные Курилы) // Природные катастрофы: Изучение, мониторинг, прогноз. VI сахалинская молодежная научная школа, 3-8 октября, 2016 г., Южно-Сахалинск, Россия. Сборник материалов. С.146-151.
4. **Прошкина З.Н.**, Кулинич Р.Г., Валитов М.Г. О структурно-вещественной характеристике океанского склона центральных Курил: новые детали // «Физика геосфер» X всероссийский симпозиум, 2-8 октября, 2017, Владивосток. С. 219-223.
5. Kulinich R. G., Valitov M. G., **Proshkina Z. N.** Correlation of Simushir earthquakes 2006-2009 with the geophysical fields and block structure of the Central Kuril basement // 8-th Biennial Workshop on Japan-Kamchatka-Alaska Subduction Processes, Hokkaido University, Sapporo, 22-26 September 2014 (Электронный ресурс).

## СОДЕРЖАНИЕ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ.....	1
ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.....	7
Глава 1. Общие сведения, геолого-геофизическая изученность Курильской островной системы и состояние проблемы.....	7
Глава 2. Использованный материал и методика исследований.....	8
Глава 3. Структура земной коры и сейсмичность района Центральных Курил.....	10
Глава 4. Глубинное строение зоны деструкции фронтального склона Центральных Курил.....	16
СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ.....	23

Прошкина Зоя Николаевна

**СТРУКТУРА И СЕЙСМИЧНОСТЬ ЗОНЫ  
ТЕКТОНИЧЕСКОЙ ДЕСТРУКЦИИ ФРОНТАЛЬНОГО  
СКЛОНА ЦЕНТРАЛЬНЫХ КУРИЛ  
ПО ГЕОФИЗИЧЕСКИМ ДАННЫМ**

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук

Подписано к печати 2018 г.  
Печать офсетная. Бумага офсетная. Формат 60x84/16.  
Уч.-изд. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ 1.

---

Отпечатано в ТОИ ДВО РАН  
690048, г. Владивосток, ул. Балтийская, 43  
тел. 231-28-54