

## О СТРУКТУРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКЕ “СЕЙСМИЧЕСКОЙ БРЕШИ” В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ КУРИЛЬСКОЙ ОСТРОВНОЙ ГРЯДЫ

*Р.Г. Кулинич<sup>1</sup>, Б.Я. Карп<sup>1</sup>, Б.В. Баранов<sup>2</sup>, Е.П. Леликов<sup>1</sup>, В.Н. Карнаух<sup>1</sup>,  
М.Г. Валитов<sup>1</sup>, С.М. Николаев<sup>1</sup>, Т.Н. Колпащикова<sup>1</sup>, И.Б. Цой<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток*

<sup>2</sup>*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва*

Рассматриваются результаты экспедиции на НИС “Академик М.А. Лаврентьев”, выполненной ТОИ ДВО РАН и ИО РАН в августе–сентябре 2005 г. с целью уточнения тектонического каркаса, оценки сейсмогенного потенциала и цунамигенной опасности центрального звена Курильской островной гряды. В комплекс исследований вошли: одноканальное сейсмическое профилирование, гравиметрия, магнитометрия, детальная батиметрия, драгирование донных пород и осадков, а также газогеохимия. Приведены результаты геофизических и геологических работ. Показано, что изученный район является зоной активной тектонической деструкции, намечены границы указанной зоны, определены основные внутренние структурно-вещественные неоднородности района исследований.

**Ключевые слова:** сейсмическая брешь, структурно-тектоническая деструкция, блоковая делимость, Курилы.

### ВВЕДЕНИЕ

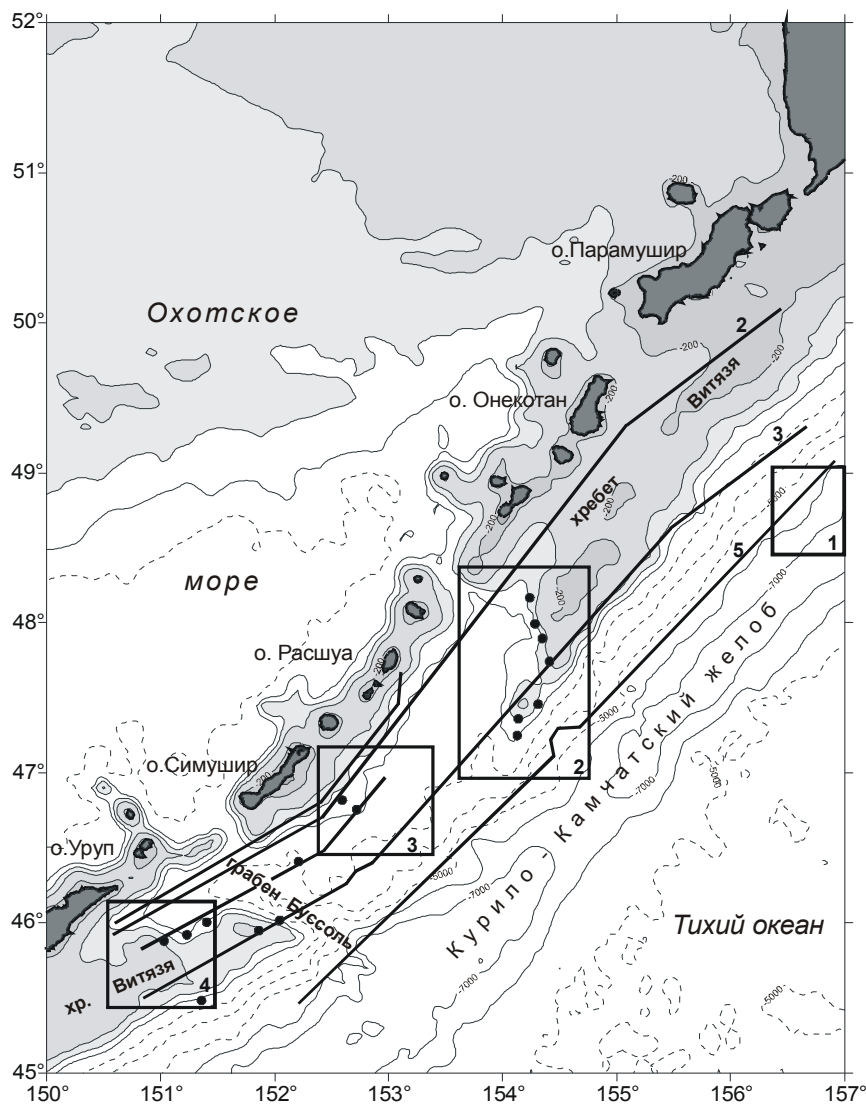
26 декабря 2004 г. вблизи северной оконечности о-ва Суматра, входящего в состав Зондской островной дуги, произошло катастрофическое землетрясение, вызвавшее цунами огромной разрушительной силы. Следствием этих процессов явилась гибель более 200 тысяч человек и огромные материальные потери в Индонезии, Таиланде и Бангладеш.

Указанные события привели к активизации исследований, позволяющих дать оценку тектонического и геодинамического состояния сейсмоопасных и цунамигенных районов в пределах Российской Федерации. Одним из таких районов является Курило-Камчатская островодужная система, в пределах которой геодинамические процессы весьма сходны с геодинамикой зоны конвергенции литосферных плит в пределах Зондской дуги. Более того, в центральной части Курильской островной гряды располагается так называемая “сейсмическая брешь”, в пределах которой в течение длительного времени не было отмечено ни одного сильного землетрясения [7]. Аналогичная “сейсмическая брешь” существовала и в пределах северного отрезка Зондской островной дуги. Ее длительное спокойствие, в конце концов, разрешилось катастрофой глобального масштаба. По аналогии можно полагать, что центральное звено

Курильских островов также может быть потенциально опасным районом, в пределах которого накопленное геодинамическое напряжение в обозримом будущем может быть сброшено в результате сильнейшего землетрясения, которое приведет к возникновению цунами.

Вышеизложенное послужило основой для разработки проекта “Изучение строения центральной части Курило-Камчатской островной дуги как возможного очага катастрофического цунамигенного землетрясения”. Инициатором и основным составителем проекта выступил ИО РАН при участии ТОИ ДВО РАН. Проект получил государственную финансовую поддержку для выполнения морской экспедиции, в задачу которой входило изучение тектонического каркаса и других структурно-вещественных характеристик фундамента и осадочного чехла в пределах фронтального склона дуги между островами Уруп и Парамушир для оценки его сейсмогенного потенциала. Научная программа экспедиции была реализована в совместной экспедиции ТОИ ДВО РАН и ИО РАН на НИС “Академик М.А. Лаврентьев” (рейс № 37). Расположение района работ и схема его отработки показаны на рис. 1.

В морфоструктурном плане район исследований располагается между Курильскими островами и



**Рис. 1.** Схема расположения геофизических полигонов и профилей и станций драгирования.

Прямоугольниками обозначены полигоны с их порядковыми номерами (1–4); профили обозначены линиями, региональные профили пронумерованы (2,3,5); станции драгирования обозначены кружками.

Курило-Камчатским глубоководным желобом и включает в себя приостровной борт желоба, подводный хребет Витязя, который рассматривается в качестве внешней, невулканической дуги в общей системе дуга–желоб, и междуговой прогиб, отделяющий хр. Витязя от Курильских островов. Морфологически указанный хребет отчетливо фиксируется лишь на юго-западе и северо-востоке района исследований. На траверзе от о-ва Симушир до о-ва Расшуа в рельефе дна он не выражен.

В 70-х годах прошлого столетия в пределах рассматриваемого района выполнен значительный объем геологического опробования донных отложений и коренных пород. Результаты драгирования тех

лет показали, что хр. Витязя сложен кайнозойскими туфогенно-осадочными породами, из-под которых в ряде мест обнажаются вулканогенно-осадочные отложения предположительно позднемелового возраста и доверхнемеловые образования [1, 2].

В рельефе дна и по данным альтиметрии в районе выделяются поперечные линейные структуры преимущественно северо-западного простирания, пересекающие генеральный план островодужной системы на ряд блоков. Наиболее выразительная структура такого рода проходит через пролив Буссоль, геологическое основание которого представляет собой тектонический грабен [2]. Природа остальных поперечных структур также связывается с разломной

тектоникой, однако данные об их строении до начала экспедиции отсутствовали.

#### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Поставленные задачи решались комплексом методов, куда вошли: непрерывное сейсмическое профилирование (НСП), гравиметрия, магнитометрия, детальная батиметрия, драгирование донных пород и газогеохимия. Основным объемом исследований был выполнен вдоль трех региональных профилей (2, 3, 5), проложенных вдоль простирания островодужной системы и в пределах четырех детальных полигонов, расположенных в местах концентрации предполагаемых и выявленных на первой стадии работ тектонических и вулканогенных структур (рис. 1). В настоящей работе результаты газогеохимии не рассматриваются.

В задачу НСП входило изучение рельефа акустического фундамента, а также распределения мощности и структуры осадочных отложений. Сейсмические работы выполнялись с использованием пневматических источников объемом 2.5 и 3.3 литра при движении судна со скоростью 7 и 5 узлов. Цифровые сигналы с косы записывались на жестком диске персонального компьютера в формате SEG Y.

Гравиметрия и магнитометрия были использованы для изучения скрытой тектоники и общей оценки вещественного состава консолидированного фундамента изучаемого района.

Гравиметрические наблюдения выполнялись шестью наборными гравиметрами ГМН, установленными на гиросаятниковые стабилизаторы ГМС-ГМН. Регистрация показаний гравиметров осуществлялась в цифровом виде на персональный компьютер и в аналоговом виде на самописцы КСП-4. Рядовые измерения выполнялись на региональных профилях и отдельных полигонах по стандартной методике.

Магнитометрия выполнялась двумя независимыми группами, сформированными в ИО РАН и ТОИ ДВО РАН. Измерения магнитного поля Земли обеими группами выполнялись в модификации градиентометрической съемки для исключения временных вариаций. Для выполнения указанных измерений группа ТОИ ДВО РАН была снабжена двумя морскими протонными магнитометрами МБМ-1. Группа ИО РАН проводила магнитные измерения с помощью буксируемого протонного градиентометра "Градиент" собственной разработки [4]. Магнитные датчики буксировались на расстоянии 200–300 м от кормы судна. Визуализация и регистрация показаний магнитометров осуществлялись персональными компьютерами. Все виды геофизических работ выполня-

лись единым комплексом на ходу судна, скорость и курс движения которого определялись требованиями НСП и гравиметрии.

Драгирование выполнялось для определения геологической природы акустического фундамента и источников геофизических аномалий, зафиксированных в процессе выполнения работ. Работы выполнялись на участках, выбранных по результатам предварительных батиметрических и сейсмических работ. Поднятые драгой породы документировались, из полученного материала отбирались образцы для дальнейшей обработки и изучения в лабораторных условиях.

Все виды работ сопровождалось изучением рельефа дна, однако на отдельных участках, имеющих сложную морфоструктуру, батиметрия выполнялась в качестве самостоятельного вида исследований. Батиметрические измерения проводились с использованием штатного глубоководного эхолота ELAC LAZ-72 E-V. Определение местоположения судна обеспечивалось двумя морскими спутниковыми навигационными приемниками системы GPS – Garmin GPS 120 и Garmin GPS 128. Кроме этого использовался единый навигационно-батиметрический терминал, созданный в лаборатории гравиметрии ТОИ ДВО РАН.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ

По результатам сейсмических работ построены временные разрезы верхней части земной коры вдоль региональных профилей, а также карты мощности осадков и рельефа акустического фундамента для каждого из отработанных детальных полигонов.

По данным гравиметрии вычислены аномалии силы тяжести в свободном воздухе, построены графики соответствующих аномалий вдоль региональных профилей и карты изоаномал для детальных полигонов и исследованного района в целом.

По данным магнитометрии вычислены аномалии магнитного поля  $\Delta T_a$ , построены соответствующие графики вдоль региональных профилей и карты изодинам аномального магнитного поля для каждого детального полигона. В данной работе используются только графики  $\Delta T_a$  вдоль региональных профилей.

Ниже излагаются основные результаты сейсмического профилирования, гравиметрии, частично магнитометрии и геологических работ, выполненных в период экспедиции. Полный объем магнитометрических, газогеохимических и морфоструктурных исследований будут представлены к опубликованию отдельно.

Для выполненных исследований наибольший интерес представляли разрывные и пликвативные формы деформаций в осадочной толще и фундаменте, продукты магматизма, сопровождавшего тектонические процессы, и общая блоковая делимость земной коры. Ниже рассматривается вклад геофизических методов и драгирования в решение экспедиционных задач.

### Сейсмические исследования

Детальная картина распределения осадков и рельефа акустического фундамента по данным НСП получены в пределах полигонов 2–4.

**Полигон 2** располагается в пределах южной оконечности северного отрезка подводного хребта Витязя, частично захватывая прилегающий к нему на западе междууговой прогиб, а на востоке – приостровной борт Курило-Камчатского желоба (рис.1). На указанном участке хребет хорошо выражен в рельефе дна, который отличается значительной сложностью. На отдельных участках вершины хребта располагаются на глубинах порядка 100 м и несут признаки волновой абразии, что свидетельствует о низком стоянии уровня моря в голоценовое время. Юго-восточный склон хребта постепенно опускается в сторону желоба. Северо-западный склон имеет более сложное строение, в целом включает в себя две ступени, разделенные уступами, и имеет простирание, близкое к субмеридиональному.

По сейсмическим данным хребту Витязя соответствует общий подъем акустического фундамента (АФ) (рис. 2А). Кровля последнего располагается в диапазоне глубин 0,5–2,6 с (от уровня моря). В сторону междуугового прогиба и желоба АФ погружается до глубин 4,6–5,0 с. Большая часть хребта лишена рыхлых отложений. Осадками заполнены указанный прогиб, склон желоба и отдельные депрессии АФ в пределах хребта. Осадки максимальной мощности (1,7 с) обнаружены в междууговом прогибе.

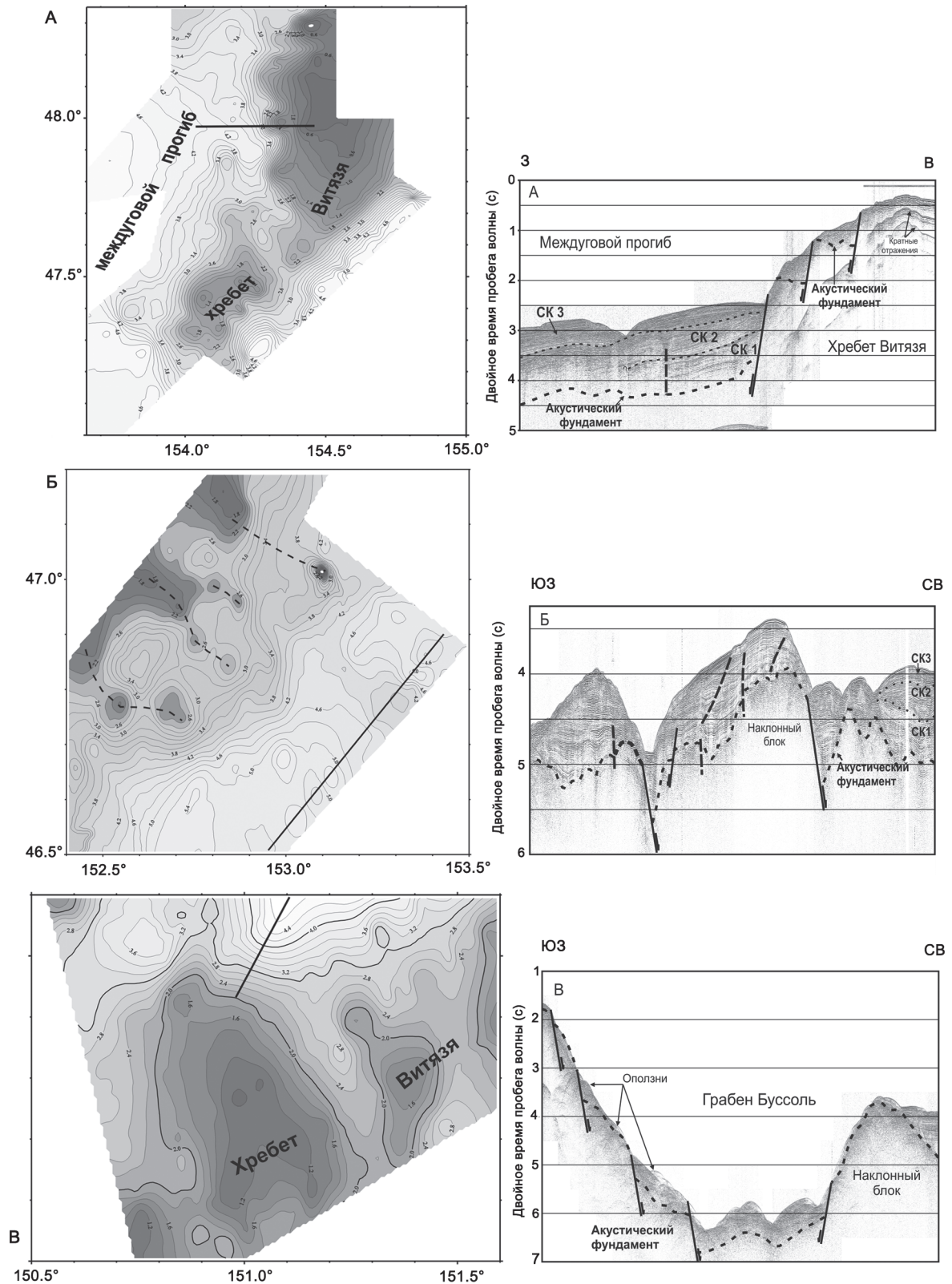
В осадочном чехле междуугового прогиба выделены три сейсмических комплекса (СК): снизу вверх СК 1, СК 2 и СК 3. Геометрия отражающих границ у подножия хребта Витязя и в его центральной части свидетельствует, что накопление осадков происходило одновременно с местными тектоническими движениями. Эти движения возникли в конце периода формирования отложений сейсмокомплекса СК 1 и продолжались в течение всего осадконакопления комплекса СК 2. Еще одним свидетельством недавней тектонической активности данного участка является широкое развитие сбросовых уступов на западном склоне хребта Витязя и наличие практически со-

временных зон разломов у подножия хребта в междууговом прогибе. Можно предполагать, что отдельные тектонические подвижки происходят здесь и в настоящее время.

**Полигон 3** располагается юго-западнее предыдущего, на траверзе о-ва Симушир, где хребет Витязя морфологически не выражен. По характеру рельефа дна этот район существенно отличается от предшествующего полигона. Генеральным отличием является общее СЗ-ЮВ простирание всех морфоструктур этого района. По сложности донного рельефа полигон может быть разделен на две части: северо-западную и юго-восточную, граница между которыми проходит примерно по изобате 2500 м. Северо-западная часть, прилегающая к островам, имеет более сложный рельеф. Здесь наблюдается несколько цепочек поднятий, образующих хребты, ориентированные в вышеуказанном СЗ-ЮВ направлении и спускающиеся вниз по склону до глубин 2500 м. Хребты разделены узкими прогибами, наиболее крупный из которых располагается в центральной части полигона. Хребты венчаются изометричными, округлыми постройками вулканогенной природы, что было подтверждено результатами драгирования.

По данным НСП осадки покрывают большую часть полигона, лишь на некоторых наиболее поднятых вершинах вулканических хребтов акустический фундамент выходит к поверхности дна (рис. 2Б). Мощность осадков закономерно увеличивается в сторону желоба и достигает значений более 1,2 с в локальных депрессиях акустического фундамента и, прежде всего, в прогибах, разделяющих указанные вулканические хребты.

Осадочный чехол в депрессиях фундамента двумя поверхностями несогласия разделяется на три сейсмических комплекса. Осадки верхнего комплекса местами образуют осадочные волны, что свидетельствует о развитии придонных течений в межгорной впадине. В депрессиях акустического фундамента на юге полигона верхний сейсмический комплекс представлен параллельно-слоистыми осадками со спокойным характером залегания. Нижележащий сейсмический комплекс (СК 2) повсюду представлен фацией стратифицированных отражений, перемежающихся с фацией хаотических отражений. Фацией хаотических отражений обычно представлены отложения, сформированные гравитационными оползнями и свалами осадков с возвышенными участками морского дна. Местами кровля второго сейсмокомплекса имеет холмообразную форму, что свидетельствует о развитии придонных течений во время и после его отложения. Самый



**Рис. 2.** Карты рельефа акустического фундамента и сейсмические разрезы полигонов 2 (А), 3 (Б) и 4 (В). На картах изолинии глубин АФ – в секундах, жирными сплошными линиями обозначено положение сейсмических разрезов; штриховыми линиями (на 3 Б) обозначены коррелируемые цепочки вулканических построек; СК – сейсмические комплексы.

нижний сейсмокомплекс (СК 1) повсеместно сложен стратифицированными и полустратифицированными сейсмическими фациями.

В сейсмических разрезах присутствуют признаки недавних тектонических движений. Так, на юго-востоке полигона, в верхней части приостровного борта желоба наблюдается широкое развитие разломных нарушений в акустическом фундаменте и перекрывающей толще осадков с образованием наклонных тектонических блоков. Геометрия отражающих границ в прогибах акустического фундамента свидетельствует о том, что отложение осадков сейсмокомплексов 2 и 3 происходило синхронно с опусканием поверхности седиментации, т. е. в условиях вертикальных тектонических движений.

**Полигон 4** располагается в пределах южного отрезка хребта Витязя, захватывая его северо-западный и юго-восточный склоны, а также частично грабен пролива Буссоль. В пределах полигона вершинная поверхность хребта находится на глубинах порядка 1000 м. На участке, где хребет Витязя круто обрывается в сторону грабена Буссоль, в зоне шириной 12 км перепад глубин морского дна составляет около 3 км. Северо-восточный борт грабена также является достаточно крутым, но перепады глубин здесь не превышают 1,5 км.

По сейсмическим данным, в рельефе акустического фундамента хребет отображается в виде двух субмеридиональных массивов (рис. 2 В). Их наиболее возвышенные участки располагаются на глубинах 1,0–1,4 с от уровня моря. Вершинные поверхности массивов разбиты разломными нарушениями субмеридионального направления, продолжающимися в пределы северного склона хребта. Осадки покрывают большую часть площади полигона. Лишены осадков только некоторые наиболее приподнятые части хребта и небольшие участки на его склонах. Мощность осадков на хребте не превышает 0,6 с и увеличивается до 1,4 с в депрессиях акустического фундамента в пределах его склонов. Маломощные осадки в пределах вершинной части хребта представлены фацией стратифицированных отложений с субпараллельными наклонными отражающими границами.

Всюду на изученном участке южного отрезка хребта Витязя геометрия отражающих границ свидетельствует о том, что в течение достаточно долгого геологического времени значительные вертикальные движения здесь отсутствовали.

Сейсмический профиль грабена Буссоль показан на рис. 2 В. Как видно, он представляет собой асимметричную структуру растяжения, оба борта ко-

торой сформированы серией сбросов с образованием наклонных блоков. Количество осадков на бортах минимально. Характер их распределения и внутренняя структура свидетельствуют об активных тектонических и гравитационных оползневых процессах, имевших место во время седиментации и в постседиментационный период. Дно грабена покрыто осадками мощностью до 0,6 с.

В целом, результаты сейсмических работ показали, что исследованный район был подвержен активным тектоническим дизъюнктивным и пликативным деформациям. Степень этих деформаций увеличивается с северо-востока на юго-запад. В северо-восточной части района исследований (примерно восточнее меридиана  $154^\circ$  в.д.) слои, слагающие верхнюю часть земной коры, залегают спокойно, без следов значительных тектонических перемещений. В юго-западном направлении ситуация существенно изменяется. В пределах всех вышеописанных полигонов обнаружены относительно молодые тектонические разломы сбросового характера. Сбросовые движения происходили в пределах северного отрезка хребта Витязя и в прогибах, разделяющих вулканические хребты на полигоне №2. Современные разломные нарушения наблюдаются в пределах западного склона и на вершинной поверхности северной и южной частей хребта Витязя, в верхней части приостровного борта желоба в пределах полигона №2.

Широкое развитие разломных деформаций без видимых признаков надвигов и наличие не перекрытых осадками наклонных блоков свидетельствуют, что юго-западная часть исследованного района является областью с превалирующими условиями растяжения и деструкции ранее существовавших морфоструктур.

### Гравиметрия и магнитометрия

В комплексе экспедиционных исследований гравиметрия оказалась наиболее глубинным методом изучения структурно-вещественных изменений в крупных блоках земной коры. В силу этого данный метод был использован для определения макроблоковой делимости земной коры в изучаемом районе. Для решения этой задачи наиболее информативными стали результаты гравиметрии, выполненной на региональных профилях значительной протяженности (рис. 1, профили 2, 3, 5), а также сводная карта гравитационных аномалий, объединяющая результаты профильных и полигонных работ и создающая единую картину распределения коровых масс в изученном районе.

Основной целью анализа профильных данных было выявление крупных участков (блоков), различающихся по геофизическим, а значит и по структурно-вещественным характеристикам. Для этого были привлечены вероятностно-статистические методы, с помощью которых была оценена корреляционная связь гравитационного и магнитного полей с рельефом дна и между собой. Кроме того, для каждого геофизического поля были рассчитаны разрезы автокорреляционной функции (АКФ). Все расчеты были выполнены в режиме скользящего окна переменной величины.

Совокупный анализ геофизических полей, морфоструктуры дна и рельефа акустического фундамента позволил обозначить наиболее крупные структурные неоднородности вдоль отработанных профилей.

Результаты указанного анализа иллюстрируются геофизическими профилями 2 и 3 на рис. 3. На профилях показаны графики гравитационных аномалий в свободном воздухе, аномалий магнитного поля и рельефа дна. Гравимагнитный профиль 3 совмещен с сейсмическим разрезом для иллюстрации общей непротиворечивости данных, полученных всеми использованными методами. Вертикальными прерывистыми линиями отмечены границы участков, различающихся по частотно-амплитудным характеристикам геофизических полей, батиметрии и коровой структуре.

*Профиль 2.* Указанный профиль, как и остальные региональные профили, проложен параллельно островной гряде и протягивается от северо-восточной оконечности о-ва Уруп до траверза о-ва Парамушир. Он начинается в районе юго-западного выступа подводного хребта Витязя, далее протягивается, главным образом, вдоль прогиба, разделяющего указанный хребет и Курильскую островную гряду, и на северо-востоке выходит в зону шельфа о-ва Парамушир.

Общей характеристикой гравитационного поля этого профиля является его положительный уровень, наличие двух краевых максимумов, приуроченных к окрестностям о-вов Уруп на юго-западе и Парамушир на северо-востоке, и наличие между ними обширного асимметричного минимума, экстремальные значения которого приурочены к проливу Буссоль. Внутренняя область указанного минимума осложнена локальными аномалиями более высокого порядка. Среди них наиболее примечательной является группа относительных максимумов силы тяжести, зафиксированная на отрезке профиля между проливом Буссоль и траверзом о-вов Ушишир и Расшуа.

Магнитное поле профиля отличается значительной сложностью и представлено непрерывным рядом локальных возмущений различного порядка на всем его протяжении. Имея общий положительный уровень, оно понижается до отрицательных значений лишь в зоне пролива Буссоль, отчетливо коррелируясь с вышеуказанным гравитационным минимумом.

Принимая во внимание, что приведенные характеристики гравитационных и магнитных аномалий в совокупности дают информацию о структурно-вещественном состоянии геологического фундамента, можно сделать следующие выводы.

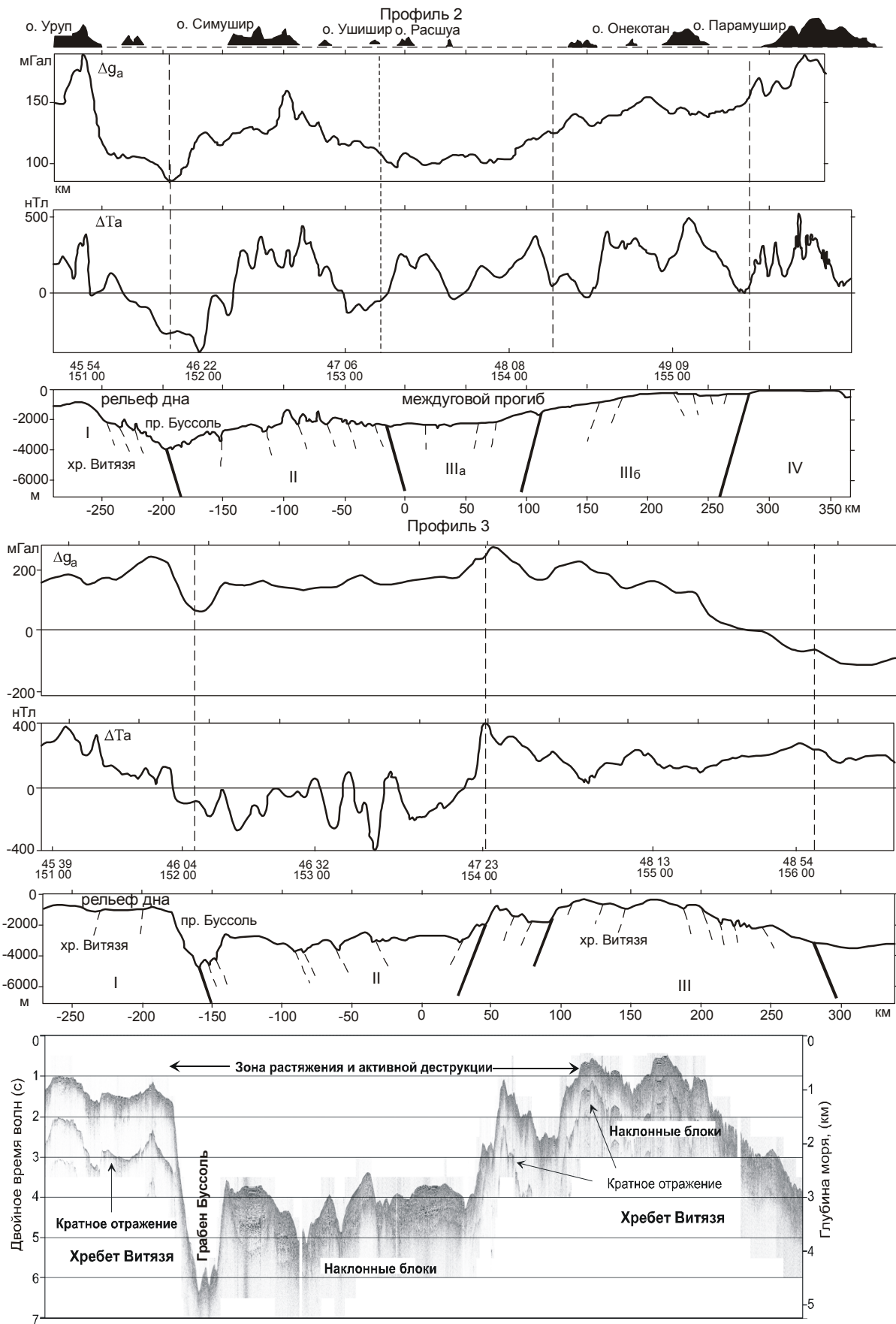
- Район, исследованный вдоль профиля 2, представляет собой зону активной деструкции консолидированного фундамента, расположенную между двумя относительно сохранившимися блоками: юго-западным и северо-восточным выступами хребта Витязя. По своей структуре эта зона представляет собой обширный асимметричный грабен с последовательным блоковым опусканием фундамента в юго-западном направлении. Его максимальное погружение можно предполагать в районе пролива Буссоль.

- Внутреннее строение зоны деструкции осложнено горсто-грабеновыми структурами более высокого порядка. Однако все они группируются в четыре крупных блока (I–IV), определивших, видимо, основную делимость фундамента и в целом коры в пределах профиля. Два из них (I и IV) образованы юго-западным и северо-восточным выступами хребта Витязя, а остальные располагаются внутри зоны деструкции, определяя ее внутреннюю структурно-вещественную неоднородность.

В обособленный блок выделился участок профиля (II), располагающийся на траверзе о-ва Симушир, в пределах которого развиты хорошо коррелируемые между собой гравитационные и магнитные максимумы. Приведенная геофизическая характеристика этого блока свидетельствует об интенсивной насыщенности его разреза магматогенными образованиями, представленными не только глубинными разновидностями, но и вулканогенными аналогами. Последние, по всей вероятности, формируют те многочисленные рельефообразующие вулканические постройки, которые картируются на данном участке всеми видами наблюдений.

Границы данного блока имеют тектоническую природу. На западе такую роль выполняет разломная зона пролива Буссоль, которая одновременно является юго-западным ограничением всей деструктивной зоны. Восточная граница блока определяется менее уверенно и проходит, видимо, на траверзе о-вов Ушишир – Расшуа. Расположение описываемого







блока пространственно хорошо коррелируется с близлежащими вулканическими о-вами Симушир – Кетой – Ушишир, что может свидетельствовать об их едином цоколе и структурно-генетической связи.

Соседний, примыкающий с северо-востока блок (III) представляет собой систему горсто-грабеновых структур различного порядка, создающих в целом ступенчатый постепенный подъем фундамента в северо-восточном направлении. В пределах этого блока можно выделить относительно крупную, предположительно грабеновую структуру, которая располагается в центральной части профиля (IIIa). Она отмечается местным понижением гравитационного поля и магнитными максимумами, которые расположены по бортам указанной структуры и контролируют магматические внедрения по разломам в период формирования этой структуры растяжения. За ее пределами (IIIб) подъем фундамента в северо-восточном направлении становится более интенсивным.

- На протяжении всего профиля консолидированный фундамент представлен преимущественно магнитоактивными геологическими комплексами, в качестве которых должны выступать магматогенные формации от среднего до основного состава.

*Профиль 3.* Этот профиль располагается юго-восточнее предыдущего, примерно параллелен ему и проходит в большей своей части над хребтом Витязя, за исключением северо-восточного окончания, которое заходит в зону островодужного борта Курило-Камчатского желоба.

Гравитационные аномалии на большей части профиля положительные, отрицательным поле становится на участке, где профиль достигает зоны желоба. Другой заметный относительный минимум силы тяжести располагается, как на предыдущем профиле, над трогом залива Буссоль.

Магнитные аномалии отличаются большей сложностью. Вся юго-западная половина профиля представлена обширным минимумом  $\Delta T_a$ , расположенным над проливом Буссоль и смежной с ним депрессией, выраженной в рельефе дна между меридианами  $152^\circ$  и  $154^\circ$ . В его центральной части магнитные аномалии понижаются до отрицательных значений. Указанный минимум осложнен высокочастотными возмущениями более высокого порядка и в целом хорошо коррелируется с понижением гравитаци-

онного поля на этом же участке. Далее на северо-восток магнитное поле переходит в положительную область и приобретает относительно спокойный характер вплоть до конца профиля.

Рассматриваемый профиль включает в себя три участка (блока), существенно различающихся по геофизическим характеристикам. Сопоставление геофизической делимости с особенностями рельефа дна и данными сейсмического профилирования показывают их хорошее соответствие. Это позволило, как и в случае с профилем 2, выделить здесь соответствующее количество разнородных блоков (I – III).

Блок I соответствует краевой части юго-западного выступа хребта Витязя и коррелируется с соответствующим блоком на профиле 2. Высокие гравитационные аномалии и наличие здесь магнитных экстремумов свидетельствуют о консолидированном состоянии фундамента, в составе которого присутствуют магматогенные образования среднего-основного состава. Тектонической границей этого блока является разломная зона пролива Буссоль.

Блок II представляет собой участок активного разрушения консолидированного фундамента с образованием сложной грабенообразной структуры асимметричного облика. Максимальное опускание фундамента произошло в тектонической зоне пролива Буссоль. Юго-западная часть этой структуры, ограниченная меридианами  $152^\circ$ – $153^\circ 30'$ , совпадает с участком интенсивных высокочастотных магнитных аномалий. Существование таких аномалий при общем опускании фундамента на значительную глубину свидетельствует о его насыщенности "свежим" магнитоактивным материалом, не затронутым деструктивными процессами. Таким материалом могут служить интрузивно-вулканогенные комплексы, поступившие к поверхности дна на конечной стадии структурно-тектонической деструкции, в процессе которой образовался описываемый блок. По своему положению и насыщенности продуктами магматизма этот участок соответствует блоку II предыдущего профиля и является его продолжением, маркируя *существование поперечной к простиранию островной дуги тектономагматической зоны*. Северо-восточная граница блока образована серией разломов сбросового характера и венчается интенсивными локальными максимумами силы тяжести и  $\Delta T_a$ , что

**Рис. 3.** Геофизические поля, сейсмический разрез и схема блоковой делимости коры вдоль региональных профилей 2 и 3.

Вертикальными пунктирными линиями обозначены границы участков (блоков), различающихся по геофизическим, батиметрическим и структурным характеристикам.

указывает на существование здесь магматических внедрений.

Необходимо отметить, что по результатам сейсмических исследований, выполненных ранее ИМГиГ ДВО РАН по профилю о. Уруп – о. Расшуа, уже отмечалось необычное строение земной коры в пределах выделяемой нами тектономагматической зоны. В последней интерпретации сейсмических данных в средней части коры здесь фиксируется наличие высокоскоростного слоя, отождествляемого с внедрениями базитового магматогенного материала, а на траверсе о-ва Симушир зафиксирован резкий подъем границы Мохо [5]. Все это могло служить глубинным источником магматогенных процессов в пределах выделенной зоны.

В блок III вошла лишь небольшая часть южной оконечности северо-восточного выступа хребта Витязя и его восточный борт, погружающийся в Кури-

ло-Камчатский желоб. Судя по высокому уровню гравитационных аномалий на участке, где боковое влияние желоба еще незначительно, и активных магнитных аномалий на протяжении всего блока, фундамент этой части хребта Витязя представляет собой не подвергнутый существенной деструкции блок, в составе которого значительную долю составляют магматиты повышенной основности.

На большую часть исследованного района по совокупности всех полученных данных построена единая карта гравитационных аномалий в свободном воздухе (рис. 4). По информативному содержанию она может рассматриваться в качестве одного из основных результативных документов, дающих представление о генеральном площадном распределении коровых масс в изученном районе, в определении общего плана блоковой (тектонической) делимости и степени деструктивных деформаций, имевших место

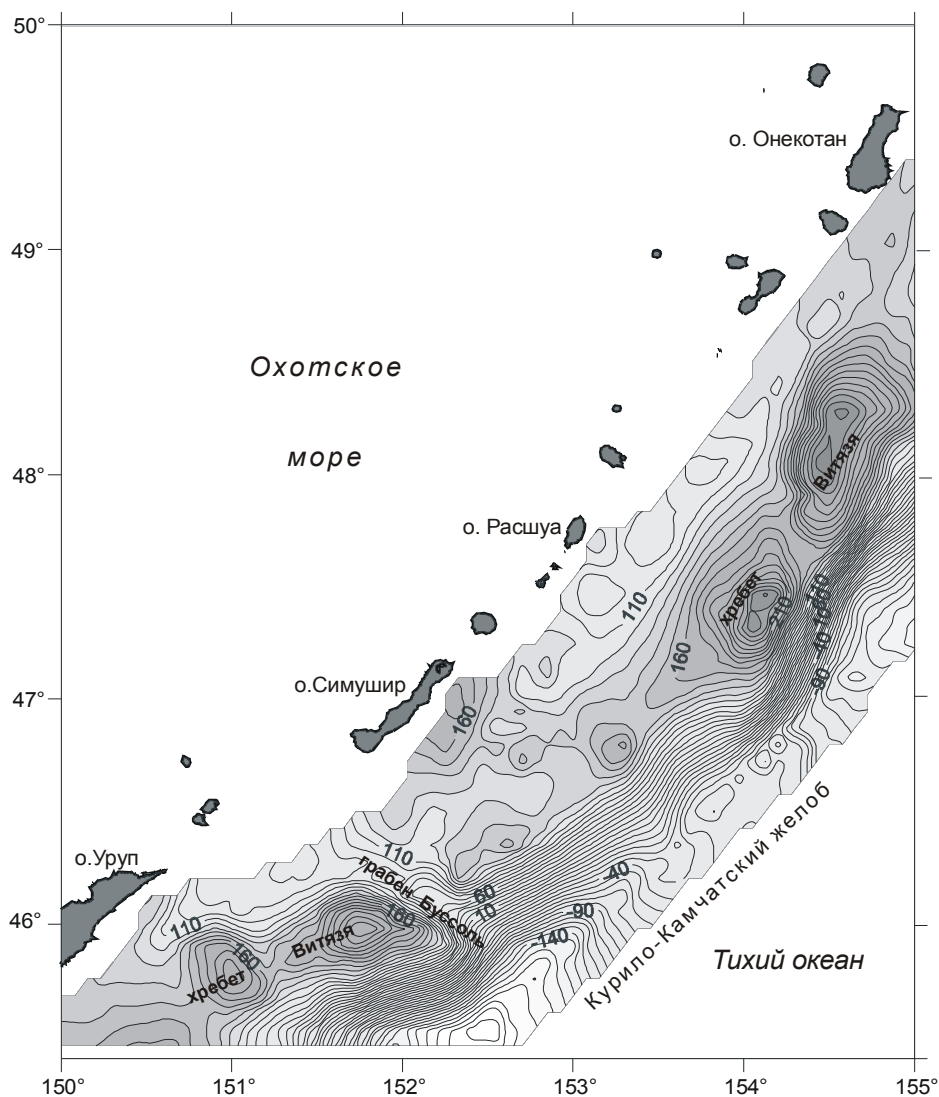


Рис. 4. Карта гравитационных аномалий в свободном воздухе, сечение изолиний 10 МГал.

в этом районе и намеченных в процессе интерпретации вышеописанных региональных профилей.

Общая структура гравитационного поля, отображенная на карте, имеет зональный облик в полном соответствии с морфотектоническим планом района исследований: в ней нашли отражение приостровной склон Курило-Камчатского желоба, хребет Витязя, прогиб, отделяющий указанный хребет от современной островной гряды, и фрагменты островного влияния. Всем перечисленным морфоструктурам соответствуют индивидуальные аномальные зоны, общий план которых конформен генеральному простиранию островодужной системы (ЮЗ–СВ).

Наибольший интерес представляют внутренние особенности указанных аномальных зон, поскольку они несут основную информацию о характере наложенных деформаций и степени деструкции вышеуказанного генерального структурного плана района.

Наиболее выразительно в гравитационном поле отразился хребет Витязя, которому соответствует цепочка максимумов с экстремальными для района амплитудами. С обеих сторон эта морфоструктура ограничивается зонами минимумов, соответствующих глубоководному желобу на юго-востоке и межгорному прогибу на северо-западе.

На карте отчетливо отразилась внутренняя блоковая фрагментация хребта Витязя. Вышеназванные юго-западный и северо-восточный сегменты хребта, выраженные максимальными по амплитуде, обширными по площади положительными аномалиями и составляющие наиболее консолидированные участки указанной морфоструктуры, расчленены на отдельные блоки. В состав северо-восточного сегмента входят два крупных блока, ориентированных в северо-восточном направлении с разворотом к меридиану в своей северной оконечности. Юго-западный выступ хребта состоит из трех блоков, ориентированных в различных направлениях. При большом сходстве гравитационных аномалий над указанными блоками существуют и заметные различия: амплитуда гравитационных аномалий над юго-западным сегментом на 60 мГал ниже, чем над северо-восточным. Можно предполагать, что юго-западную оконечность хребта в свое время затронули более активные деструктивные процессы, чем северо-восточную. Это согласуется с вышеприведенным выводом об общем усилении деструктивных воздействий на первоначальную структуру района исследований в юго-западном направлении, в районе разломной системы пролива Буссоль.

В центральной, разрушенной части хребта двумя небольшими по амплитуде гравитационными максимумами зафиксированы еще два небольших, видимо претерпевших интенсивную деструкцию и погружение фрагмента хребта Витязя. Их существование свидетельствует о том, что полный разрыв хребта Витязя не состоялся, на уровне фундамента он трасируется цепочкой скрытых выступов по всей длине этой морфоструктуры.

Прогиб, разделяющий хребет Витязя и островную Курильскую гряду, как единая отрицательная структура не существует. Вышеуказанной поперечной тектономагматической зоной, обнаруженной на траверзе о-вов Симушир – Ушишир, он расчленяется на два сектора. Один из них располагается юго-западнее тектонической зоны пролива Буссоль, второй – севернее широты 47°. В обоих случаях прогибу соответствуют относительные гравитационные минимумы.

### Геологические работы

Этот вид исследований включил в себя драгирование каменного материала и осадочных отложений в районе исследований. Положение станций драгирования показано на рис. 1. В большинстве случаев получен разнообразный представительный каменный материал из докайнозойского фундамента и кайнозойских отложений. Ниже приведены результаты предварительного изучения полученного материала.

*В пределах северо-восточного сегмента хр. Витязя* среди полученного материала преобладают породы вулканогенно-терригенного состава, слагающие фундамент этой структуры. Последний перекрыт чехлом слабо литифицированных кайнозойских отложений. Все осадочные породы по составу и степени литификации предварительно разделены на несколько комплексов, которые в определенной степени отражают их возраст и условия образования. Кроме того, на ряде станций в подчиненном количестве подняты магматические породы (граниты, базальты и андезибазальты).

К *первому комплексу* отнесены туфогенно-кремнистые породы, поднятые с западного склона хр. Витязя в интервале глубин 1450–1200 м. Выдержанный состав, характер переслаивания туфогенно-кремнистых пород могут свидетельствовать об их формировании в спокойной тектонической обстановке в глубоководных морских условиях. По составу они близки отложениям малокурильской свиты о-ва Шикотан позднемелового возраста [6].

*Второй комплекс* включает вулканогенно-терригенные породы, представленные полимиктовыми,

граувакковыми, туфогенными песчаниками, туфами и вулканитами. По литологическому составу в этом комплексе условно выделяются две толщи: вулканогенно-терригенная и граувакковых песчаников. В первой из них преобладают полимиктовые песчаники, среди которых присутствуют среднезернистые разновидности с растительным детритом и обломки крупнозернистых песчаников. Здесь же установлены туфопесчаники, крупногалечные конгломераты с цементом среднезернистого песчаника, туфо-конгломераты, цементирующая масса которых представлена мелкозернистым туфом, а также красноцветные конгломераты с галькой ожелезненных вулканитов и цементом полимиктовых песчаников. В подчиненном количестве подняты породы вулканогенного состава: кристаллокластические туфы андезитов, риолитов, дациты и игнимбриты.

Толща граувакковых песчаников представлена глыбами и обломками грубозернистой массивной породы с материалом коры выветривания порфировидных гранитов. Совместно с песчаниками присутствуют конгломераты с редкой галькой кислых вулканитов в грубозернистой основной цементирующей массе, сложенной крупными таблитчатыми и округлыми зернами белого выветрелого полевого шпата, цементированного железомарганцевым цементом.

В целом, для терригенных и вулканогенно-терригенных пород второго комплекса характерно отсутствие слоистости, преобладание крупно-среднезернистых неравномернозернистых осадков, слабая степень дезинтеграции, плохая сортировка и степень окатанности обломочного материала, наличие детрита растений, красноцветный облик конгломератов. Все это может свидетельствовать о мелководных и наземных условиях их образования, незначительной транспортировке обломочного материала от источников питания и высокой скорости осадконакопления.

*Третий комплекс* представлен слабо литифицированными осадками кайнозойского чехла, перекрывающего фундамент. Они представлены преимущественно туффитами (туфопесчаники, туфодиатомиты, туфоалевролиты, туфы), а также туфогенными алевропесчаниками, песчаниками, кремнистыми аргиллитами, алевроаргиллитами, глинами.

С целью определения возраста и условий осадконакопления этого комплекса поднятые образцы были изучены методом диатомового анализа. Их обработка проводилась по стандартной методике с использованием тяжелой калиево-кадмиевой жидкости. Для датирования неогеновых комплексов использовалась северо-тихоокеанская неогеновая зо-

нальная диатомовая шкала Ю. Янагизавы и Ф. Акибы [10], для палеогеновых комплексов использовалась зональная шкала А. Гладенкова [3] и А. Гладенкова и Дж. Баррона [9]. Реконструкция палеоусловий проводилась на основе анализа экологического состава диатомовых комплексов [8]. В изученных осадках установлен комплекс диатомей: зоны *Neodenticula koizumii* (2.7/2.6–2.0 млн лет) позднего плиоцена, зоны *Actinocyclus oculatus* (2.0–1.0 млн лет) позднего плиоцена–раннего плейстоцена. Среди изученных комплексов диатомей преобладают океанические виды, что указывает на глубоководные условия формирования вмещающих осадков.

*В пределах юго-западного сегмента хр. Витязя* подняты отложения осадочного чехла, представленного туфодиатомитами, туфоалевролитами с прослоями туфопесчаников. В туфоалевролитах, туфоалевроаргиллитах и аргиллитах западного склона хребта обнаружен разнообразный комплекс диатомей и силикофлагеллят. Он соответствует комплексу диатомовой зоны *Thalassiosira praeфрага* (24.0–20.3 млн лет) позднего олигоцена–раннего миоцена и зоне *Naviculopsis lata* раннего миоцена по силикофлагеллятам. Комплексы характеризуются незначительным преобладанием неритических видов и низким содержанием бентических видов. Предполагается, что подобный состав комплексов формировался в зоне обширного внешнего шельфа – верхнего склона. В пределах восточного склона хребта подняты осадочные породы третьего комплекса (туфоалевролиты, аргиллиты, туфопесчаники). Они более литифицированы, чем аналогичные породы на других участках исследованного района, и содержат самый древний комплекс диатомей из проанализированных образцов описываемого рейса. В туфоалевролите найден комплекс зоны *Rhizosolenia oligosaenica* (33.7–31 млн лет) раннего олигоцена. В комплексе доминируют неритические виды, что характерно для шельфовых осадков. Комплекс диатомей раннеолигоценовой зоны *Rhizosolenia oligosaenica* (подзона “а”, 33.7–31 млн лет) ранее был обнаружен в отложениях этого же участка, а также в отложениях Северо-Курильского плато [2, 8]. Экологический состав комплексов характеризуется преобладанием неритических видов, что характерно для шельфовых осадков.

Таким образом, изученный разрез кайнозойских отложений осадочного чехла подразделяется на три толщи: раннеолигоценовую, позднеолигоцен-раннемиоценовую и позднеплиоцен-раннеплейстоценовую.

Магматические породы представлены гранитами и вулканическими породами.

Граниты встречены на ряде станций драгирования. Наибольшее их количество поднято на западном склоне хребта Витязя в виде глыб среднезернистых массивных биотит-амфиболовых порфировых гранитов. Порфировые выделения, составляющие 30–40%, представлены кристаллами зонального плагиоклаза и зернами калиевого полевого шпата, а основная масса

имеет гранофировую или микрогранитную структуру. По облику это малоглубинные граниты, вероятно, позднемелового–палеогенового возраста.

Вулканогенные породы подняты на ряде станций в пределах хр. Витязя и на участке, где по геофизическим данным выделена поперечная тектономагматическая зона. Основная их часть сформиро-

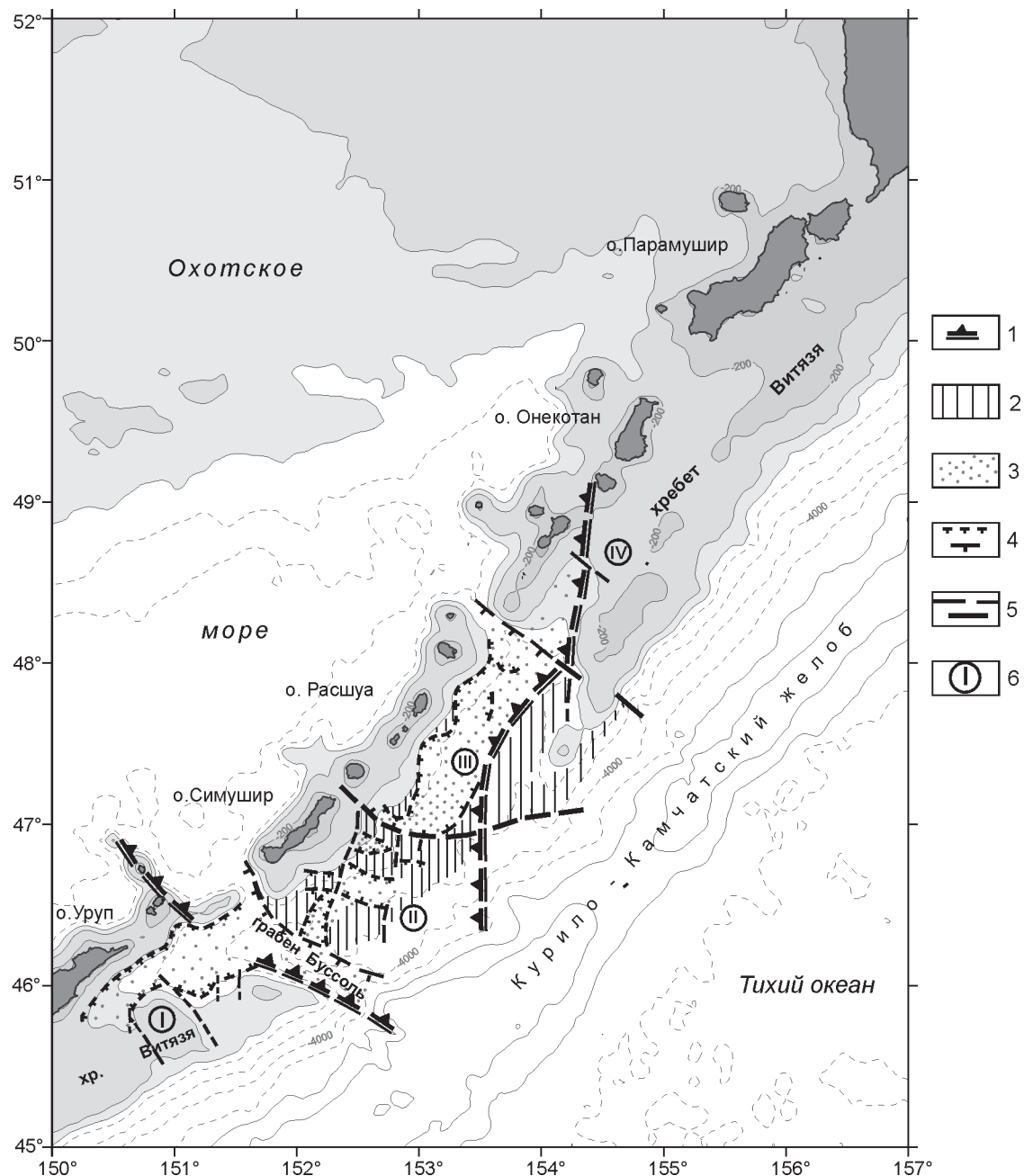


Рис. 5. Структурная схема фронтальной части Центральных Курил (составил Р.Г. Кулинич, 2006).

1 – границы максимальной деструкции фронтальной зоны Курильской островодужной системы; 2 – скрытые выступы консолидированного фундамента; 3 – осадочные прогибы и тектонические грабени; 4 – границы осадочных прогибов и грабенов различных рангов; 5 – разломы различных рангов; 6 – номера наиболее крупных блоковых неоднородностей.

валась в кайнозое. Они подразделяются на несколько возрастных комплексов: *эоценовый*, представленный туфами андезибазальтов и игнимбридами; *олигоценый*, сложенный лавами и туфами трахитов; *позднемиоценовый* андезитовый и *плиоцен-плейстоценовый*, представленный лавами и кластолавами клинопироксен-плагноклазовых и оливин-пироксен-плагноклазовых базальтов, андезибазальтов. Наряду с ними установлены вулканы другого состава и облика, которые по сходству с вулканами Охотского моря отнесены к позднемиоценовому дацит-риолитовому комплексу, сложенному лавами, туфолавами и туфами дацитов и риолитов. Наличие большого количества туфового материала в его составе свидетельствует о субаэральном характере извержений.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По совокупности полученных данных исследованный район представляет собой зону активного растяжения и деструкции центрального звена Курило-Камчатской островной дуги. В плане зона деструкции образует асимметричный треугольник, сужающийся по направлению к желобу и открывающийся в сторону островов (рис. 5). Юго-западной границей указанной зоны служит тектоническая система пролива Буссоль, ориентированная в ЮВ–СЗ направлении. Северо-восточная граница имеет сложную конфигурацию и в целом простирается в субмеридиональном направлении. Обе границы имеют тектоническую природу и образованы серией разломов сбросового характера. Деструктивные процессы, имевшие место в указанных тектонических границах, имели наложенный характер и включили в себя не только структурные деформации, но и активный магматизм преимущественно вулканогенного типа. Насыщенность этой структуры продуктами вулканической деятельности позволяет, на наш взгляд, отнести ее к разряду рифтогенных образований.

Современный региональный разрез изученного района представляет собой сложно устроенный асимметричный грабен с последовательным блоковым опусканием фундамента в юго-западном направлении (рис. 3, профиль 2). Максимальные тектонические деформации и разрушения занимают район между о-вами Уруп и Онекотан. Внутреннее строение зоны деструкции осложнено горсто-грабеновыми структурами более высокого порядка. Однако все они группируются в четыре крупных блока (I–IV), определивших, видимо, в исследованном районе основную делимость фундамента и коры в целом (рис. 3, 5). Два из указанных блоков (I и IV) образованы юго-западным и северо-восточным сег-

ментами хр. Витязя, а остальные располагаются внутри зоны деструкции, определяя ее внутреннюю структурно-вещественную неоднородность. Предполагается, что границы между блоками являются тектоническими. Средний размер блоков, выделенных по данным гравиметрии, составляет около 90 км, хотя по данным магнитометрии выделяются блоки размером 25–50 км.

Среди выделенных крупных блоков наибольший интерес представляет участок под номером II (рис. 3, 5). По всем признакам он представляет собой поперечную к дуге наложенную тектономагматическую зону, насыщенную интрузивно-вулканогенными образованиями. Здесь выделено 15 ранее неизвестных вулканогенных построек. Их вулканогенная природа доказана результатами драгирования. Данная зона прослеживается от о. Симушир до желоба и может рассматриваться в качестве осевой магмагенной зоны в процессе наложенного рифтогенеза.

Хр. Витязя рифтогенными процессами разорван на две части – юго-западную и северо-восточную. Однако его полный разрыв не состоялся, на уровне фундамента он трассируется цепочкой скрытых выступов по всей длине этой морфоструктуры (рис. 4, 5). Прогиб, разделяющий хр. Витязя и островную Курильскую гряду, как единая отрицательная структура не существует. Он разбивается на два сектора. Собственно прогиб существует на двух участках: юго-западнее тектонической зоны Буссоль и севернее широты 47° (о-в Симушир). Как и хр. Витязя, прогиб расчленяется вышеуказанной поперечной тектономагматической зоной (блок II, рис. 3, 5).

В целом, выполненные исследования раскрыли гораздо более сложную структурно-тектоническую ситуацию в так называемой “сейсмической брешии”, чем это представлялось до настоящего времени.

Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП “Мировой океан” и ДВО РАН (грант № 06-1-П17-075).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильев Б.И., Корнилова Р.М., Болдырева В.П. Неогеновые отложения внешней зоны Малой Курильской гряды // Новые данные по геологии Дальневосточных морей. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1979. С. 40–57.
2. Васильев Б.И., Суворов А.А. Геологическое строение района подводной долины Буссоль (Курильская островная дуга) // Новые данные по геологии Дальневосточных морей. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1979. С. 58–68.
3. Гладенков А.Ю. Зональная стратиграфия олигоцена и нижнего миоцена Северо-Тихоокеанского региона по диаграммам // Стратиграфия. Геол. корреляция. 1998. Т. 6, № 2. С. 50–64.
4. Городницкий А.М., Филин А.М., Малютин Ю.Д. Морская

- магнитная градиентная съемка. М.: ВНИРО, 2004. 140 с.
5. Злобин Т.К., Костюкевич С.А., Злобина Л.М. Структура земной коры Средних Курил по данным сейсмического моделирования // Тихоокеан. геология. 1998. Т.17, № 2. С. 115–121.
  6. Сергеев К.Ф. Тектоника Курильской островной системы. М.: Наука, 1976. 240 с.
  7. Федотов С. А., Чернышев С. Д., Чернышева Г. В., Викулин А.В. Уточнение границ очага землетрясений с  $M \geq 7s$ , свойства сейсмического цикла и долгосрочного сейсмического прогноза для Курило-Камчатской дуги // Вулканология и сейсмология. 1980. № 6. С. 52–67.
  8. Цой И.Б. Олигоценные диатомовые комплексы из отложений островного склона Курило-Камчатского желоба // Океанология. 2002. Т. 42, № 2. С. 267–280.
  9. Gladenkov A.Yu., Barron J.A. Oligocene and Early Miocene Diatom Biostratigraphy of Hole 884B // Proc. ODP, Scien. Results. (Rea D.K., Basov I.A., Allan J.F. et al., Eds). 1995. V. 145. P. 21–41.
  10. Yanagisawa Yu., Akiba F. Refined Neogene diatom biostratigraphy for the northwest Pacific around Japan, with an introduction of code numbers for selected diatom biohorizons // The Journal of the geological society of Japan. 1998. V. 104, N 6. P. 395–414.

Поступила в редакцию 29 мая 2006 г.

Рецензент Т.К. Злобин

**R.G. Kulinich, B.Ya. Karp, B.V. Baranov, Ye.P. Lelikov, V.N. Karnaukh, M.G. Valitov,  
S.M. Nikolaev, T.N. Kolpaschchikova, I.B. Tsoi**

**The structural and material characteristic of the “seismic gap” in the central part of the Kuril Island Range**

There is a “seismic gap” in the central part of the Kuril-Kamchatka island arc. R/V Akademik M. A. Lavrentyev carried out geophysical and geological survey of the seismic gap area in August-September, 2005. The paper presents the results of the study of the seismic gap area by single-channel seismic reflection, magnetic, gravity and bathymetry methods, and bottom geological samplings. The study area is an active tectonic destruction zone. The destruction zone boundaries have been delineated. The main inner structural and material heterogeneities have been determined.

**Key words:** seismic gap, structural-tectonic destruction, block divisibility, Kurils.