

УДК 550.83.017

© 1997 г. ПОПРУЖЕНКО С.В., ЗУБИН М.И.

**ТЕКТОНИКА И НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ СЕЙСМИЧНОСТИ  
ШЕЛЬФОВОЙ ЗОНЫ АВАЧИНСКОГО ЗАЛИВА И ПРИЛЕГАЮЩИХ  
РАЙОНОВ**

Рассмотрены особенности тектонического строения шельфовой зоны Авачинского залива на основе интерпретации комплекса среднемасштабных геолого-геофизических исследований. Проведена увязка крупных тектонических элементов суши и материкового склона. Проанализированы некоторые особенности сейсмичности.

TECTONIC STRUCTURE AND SOME FEATURES OF SEISMICITY IN THE SHELF ZONE OF THE AVACHA BAY AND ADJACENT AREA, by Popruzhenko S.V. and Zubin M.I. Intermediate-scale geological and geophysical data were used to infer the tectonic structure of the shelf zone of the Avacha Bay; major onshore and offshore tectonic features were linked; the seismicity was analyzed.

(Received May 29, 1995)

*Institute of Volcanic Geology and Geochemistry, Far East Division, Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683005, Russia*

Анализ тектонического строения сейсмически активных регионов имеет важное значение как для изучения особенностей и закономерностей проявления сейсмического процесса [6], так и для планирования исследований по проблеме прогноза сильных землетрясений.

Вопросы тектонического строения побережья и акватории Авачинского залива рассмотрены во многих геолого-геофизических, геоморфологических и сейсмотектонических исследованиях [2, 4, 8–12], по результатам которых приводятся различные структурные схемы, увязывающие крупные тектонические элементы материкового склона со структурами береговой зоны. До недавнего времени исследования на акватории Авачинского залива либо носили в основном мелкомасштабный характер, слабо затрагивая шельфовую зону, либо отличались незначительной глубиной исследования. В условиях значительной тектонической раздробленности такой пробел приводит к субъективности при прослеживании ряда структурных элементов.

В 1991–1992 гг. Морской геофизической партией ПГО "Дальморгеология", в составе которой работал один из авторов настоящей работы, выполнены комплексные геолого-геофизические исследования, включившие среднемасштабную гравиметрическую съемку с набортными гравиметрами, гидромагнитную съемку и сейсмоакустическое профилирование, а также газогидрохимическое опробование. Непрерывные геофизические исследования проводились по сети профилей, расстояние между которыми составляло 2–3 км. Полученные в результате обработки данные положены в основу настоящей работы.

Изученный район охватывает шельф и начало материкового склона (рис. 1). Шельфовая зона, оконтуренная по изобате 200 м, простирается от бухты Русская на юго-западе, где ее ширина не превышает 20 км, до Шипунского полуострова, где ширина этой зоны ~ 28 км. Максимальная ширина шельфа в центральной части райо-

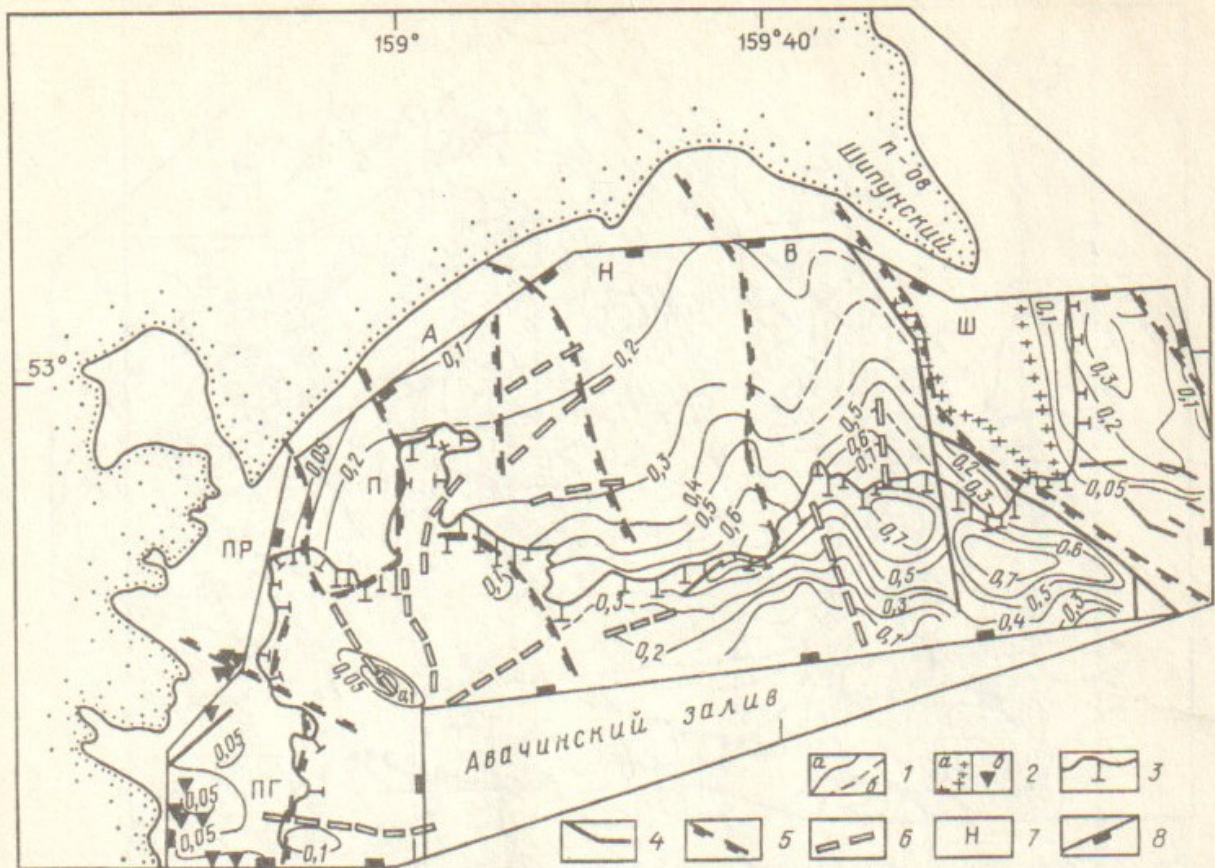


Рис. 1. Схема мощности неконсолидированных отложений шельфовой зоны Авачинского залива по данным сейсмоакустического профилирования с элементами районирования поля силы тяжести в редукции Фая. Сейсмоакустические данные: 1 – изолинии мощности неконсолидированных отложений в масштабе удвоенного времени прохождения отраженной волны (а – установленные, б – предполагаемые); 2 – выходы на поверхность дна акустического фундамента (а – подводное продолжение Шипунского п-ова, б – локальные поднятия); 3 – внешняя кромка шельфа; 4 – установленные разрывные нарушения. Гравиметрические данные: 5 – гравитационные ступени, бергштрихи направлены в сторону понижения поля; б – линии корреляции локальных деформаций поля; 7 – аномальные зоны – "положительные" (ПГ – Пегас, П – Петропавловская, Н – Начикинская, Ш – Шипунская) и "отрицательные" (ПР – Приморская, А – Авачинская, В – Вахильская); 8 – границы участка работ

на исследований 45 км. Мощность неконсолидированных отложений по данным сейсмоакустики на большей части исследуемого района не превышает 300 м (0,3 с в масштабе удвоенного времени пробега сейсмической волны) и достаточно плавно увеличивается к бровке шельфа до 500–600 м. Наиболее значительные участки выхода на поверхность дна акустического фундамента установлены у Берегового хребта (напротив бухты Вилючинской) и к югу от Шипунского п-ова. В целом поверхности дна и акустического фундамента в шельфовой зоне достаточно плавные и не могут рассматриваться на большей части акватории в качестве источника интенсивных "рельефных" аномалий в гравитационном и аномальном магнитном поле (АМП), что важно при анализе геологической природы гравимагнитных аномалий. Исключение составляет район юго-восточнее Шипунского п-ова. Здесь по разломной зоне отмечается довольно резкое изменение мощности неконсолидированных осадков. К северо-востоку от нее отмечены обширные выходы акустического фундамента, а к юго-западу – увеличение мощности неконсолидированных осадков.

В аномальном магнитном поле рассматриваемого района (рис. 2) достаточно уверенно выделяются три аномальные зоны. В юго-западной части района наблюдается дифференцированное знакопеременное АМП слабой интенсивности  $+2...-4 \cdot 10^2$  нТл. Для центральной части, где шельф имеет максимальную ширину, характерно спокойное слабоотрицательное АМП интенсивностью до  $-4 \cdot 10^2$  нТл. Далее к северо-востоку,

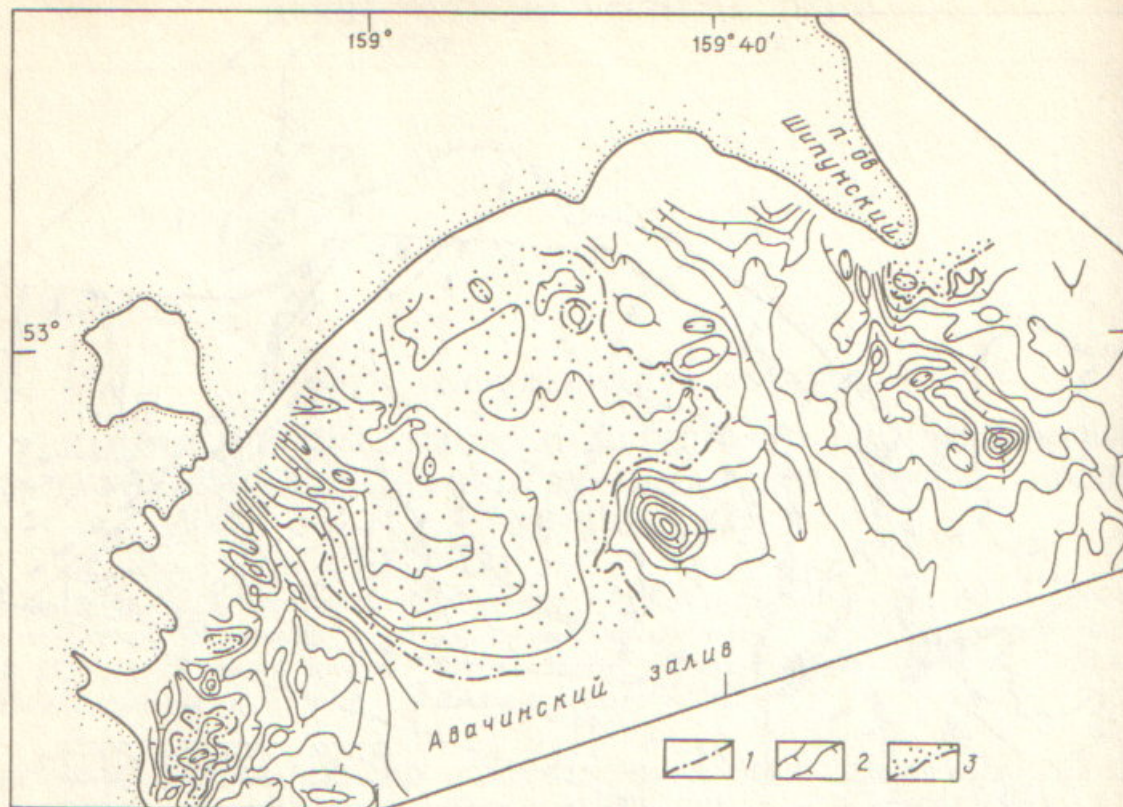


Рис. 2. Схема аномального магнитного поля ( $\Delta T$ ) шельфовой зоны Авачинского залива: 1, 2 – изолинии аномального магнитного поля ( $\Delta T$ ), бергштрих указывает в сторону понижения поля (1 – нулевые, 2 – прочие); 3 – отрицательное (а) и положительное (б) магнитное поле

южнее Шипунского полуострова, АМП переходит через спокойное положительное  $((3...4) \cdot 10^2$  нТл) к дифференцированному, среднеинтенсивному до  $5 \cdot 10^2$  нТл. В качестве наиболее выраженных локальных аномалий необходимо отметить два максимума интенсивностью 900–1000 нТл, тяготеющих к бровке шельфа. Первый из них имеет изометричную форму, напоминающую аномалию над однородно намагниченным вертикальным цилиндром с "бесконечно" большой глубиной залегания нижней кромки ( $159^\circ 30'$  в.д.,  $52^\circ 47'$  с.ш.). Вторым, южнее Шипунского п-ова, имеет неправильную форму, вытянутую в северо-западном направлении.

Анализ поля силы тяжести (редукция Фая) позволил установить, что в его структуре в зоне шельфа преобладают элементы субмеридионального и северо-западного простираний (рис. 1). В частности, выделен ряд участков с разным уровнем поля, разделенных гравитационными ступенями. Сопоставление с данными наземных гравиметрических съемок показывает, что основные элементы районирования поля силы тяжести шельфовой зоны являются продолжением элементов поля береговой зоны Авачинского залива. При переходе через бровку шельфа структура поля "обрезается" мощной гравитационной ступенью, фиксирующей резкое увеличение глубины океана на материковом склоне.

В целом, хорошая увязка морфологических особенностей гравитационного и АМП полей шельфа Авачинского залива и побережья позволяет проследить до материкового склона уже известные, закартированные геолого-геофизическими исследованиями основные тектонические элементы Шипунского блока и Петропавловско-Начикинской зоны поперечных дислокаций [2]. Основанием для выделения и прослеживания основных, структуроконтролирующих разломов явилось наличие в гравитационном и магнитном полях зон высоких горизонтальных градиентов, деформаций изоаномал и изодинам, участков полей с различной морфологией и интенсивностью.

В результате комплексной интерпретации геолого-геофизических данных авторами составлена структурная схема, охватывающая побережье и шельф Авачинского

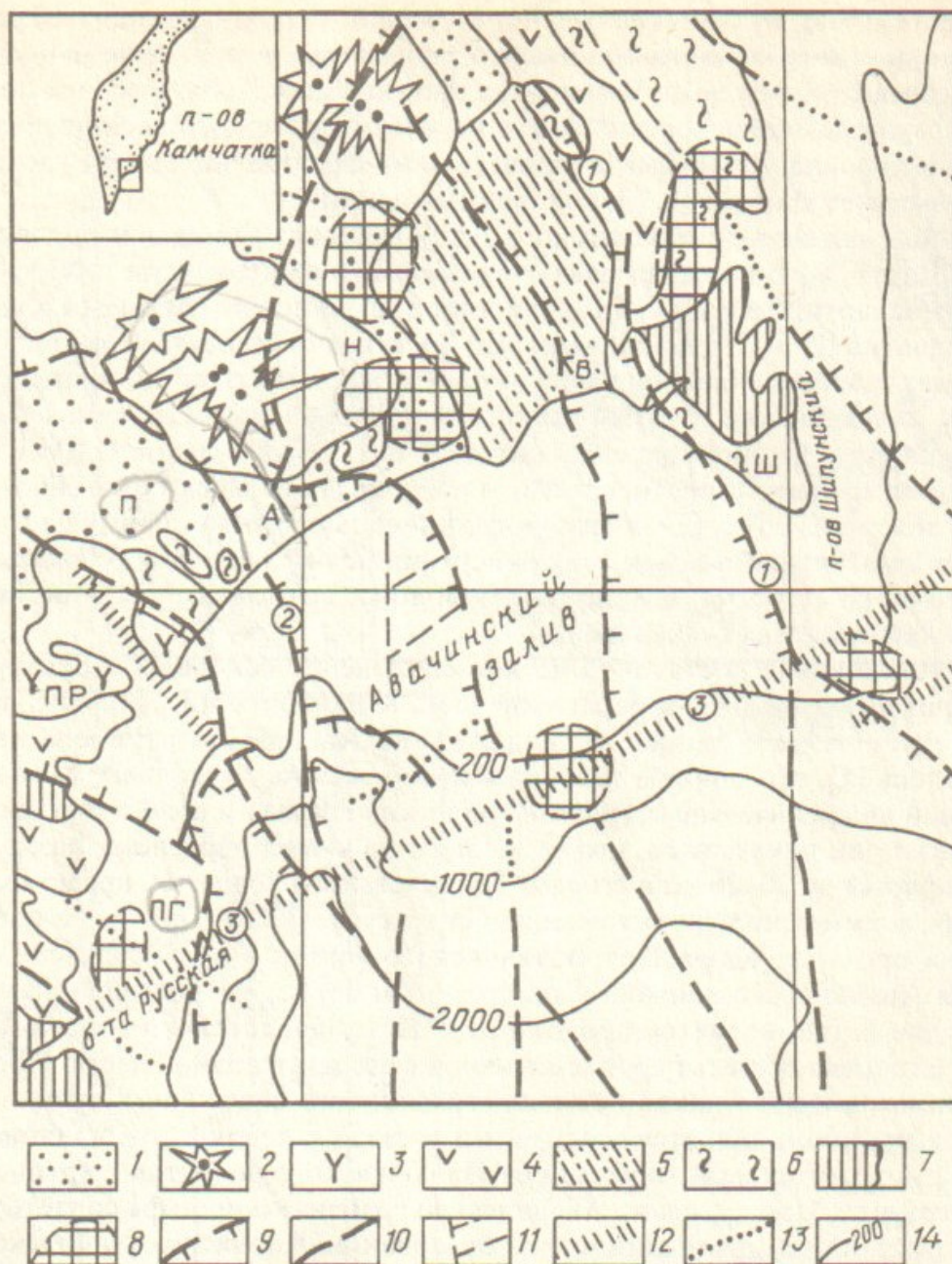


Рис. 3. Тектоническая схема района исследований: 1 – рыхлые четвертичные отложения; 2 – четвертичные вулканиты; 3 – плиоценовые, преимущественно вулканогенные; 4 – олигоценные терригенные и вулканогенные; 5 – верхний мел-палеоценовые, преимущественно терригенные; 6 – верхнеюрско-верхнемеловые, терригенные и вулканогенно-кремнистые отложения; 7 – интрузии среднего-основного состава; 8 – интрузии, предполагаемые по геофизическим данным; 9–13 – разломы (9 – основные структуроконтролирующие; 10 – то же по данным работы [8]; 11 – локальные, 12 – разломы, предполагаемые по магнитным данным; 13 – предполагаемое продолжение разломов); 14 – изобаты, м. Цифрами в кружках на разломах отмечены: 1 – Шипунский, 2 – Петропавловский и 3 – Русский разломы. Остальные обозначения, как на рис. 1

залива (рис. 3). На этой схеме с юго-запада на северо-восток выделены: северное окончание поднятия Пегас, Приморский грабен, Петропавловский горст, Авачинский грабен, Налычевское поднятие, Вахильская грабен-синклиналь и поднятие Шипунского п-ова. Поскольку геологический состав комплексов горных пород, слагающих эти структуры, изучен наземными геологическими исследованиями и описан в многочисленных публикациях, в настоящей работе сделан акцент на структурные особенности.

Границами выделенных структур (блоков) являются системы разломов взброс-сбросового типа, фиксирующиеся гравитационными ступенями и зонами смены морфологии АМП. Дифференцированные слабо-среднеинтенсивные АМП в пределах поднятия Пегас и частично Петропавловского горста свидетельствуют о присутствии здесь

палеоген-неогеновых вулканогенных образований, перекрывающих относительно поднятые блоки нижнемелового фундамента, сложенного терригенными и вулканогенно-кремнистыми отложениями. В пределах продолжения Налычевского поднятия на шельфе маломощный кайнозойский чехол, по-видимому, представлен преимущественно туфогенно-пирокластическими и терригенными слабомагнитными отложениями, о чем свидетельствует спокойное, слабоинтенсивное АМП.

Интенсивные магнитные максимумы в пределах шельфовых зон поднятий Налычевского и Шипунского п-ова связываются авторами с интрузиями габбро-диоритов, аналогичных закартированным на Шипунском п-ове и предполагаемым в ядре Налычевского поднятия [2, 5]. Не исключено, что достаточно обширный магнитный минимум в пределах северного окончания поднятия Пегас связан с гранитоидной интрузией. Приморский и Авачинский грабены выполнены плиоценовыми вулканогенно-осадочными отложениями. Спокойное, слабоинтенсивное отрицательное АМП в районе продолжения на шельфе свидетельствует о преобладании здесь туфогенно-пирокластических отложений. Вахильская грабен-синклиналь сложена преимущественно осадочными слабомагнитными отложениями верхний мел-палеоценового возраста. Вдоль северо-восточного ее борта, в приразломной зоне, возможно, как и на побережье, присутствие кайнозойских вулканитов.

В целом установлено достаточно четкое сочленение основных структуроконтролирующих разломов шельфа и береговой зоне. К наиболее интересным, по мнению авторов, следует отнести данные о продолжении Авачинского грабена на шельфе. Предполагалось [5], что ширина грабена у побережья не превышает 8–10 км. Более внимательный анализ наземных гравиметрических данных и сопоставление их с данными по акватории показывает, что на шельфе по кулисообразному разлому грабен резко расширяется до 20–26 км в сторону Налычевского поднятия, представляя собой, по-видимому, асимметричную наложенную структуру. Осевая, наиболее погруженная зона грабена проходит вдоль Петропавловского горста к верхней части северного ответвления Авачинского каньона. Естественным барьером, разделяющим верховье каньона на две ветви, является продолжение Петропавловского горста. Структура Авачинского грабена остается проблематичной в его центральной части. Предполагаемое по гравиметрическим данным сужение грабена юго-восточнее Корякско-Авачинской группы вулканов является кажущимся в связи с недоучетом влияния высокоинтенсивной положительной аномалии от Налычевского поднятия с крупной внутрикоровой интрузией. Продолжение Авачинского грабена на шельфе свидетельствует о том, что эта структура предшествовала образованию Корякско-Авачинской группы вулканов и не является изначально компенсационным погружением под действием вулканической нагрузки.

Составленная авторами структурная схема сопоставлена с аналогичной схемой для материкового склона юго-восточной Камчатки [9]. Отмечено закономерное, хотя и не всегда четкое, сочленение для ряда крупных разломов, проведенных по данным морфоструктурного анализа и сейсмоакустических исследований. В связи с этим необходимо отметить, что предполагаемый авторами Русский разлом (рис. 3) может быть шовной зоной, нарушающей сочленение секущих по отношению к ней разломов шельфа и материкового склона.

Для анализа связи тектоники и сейсмичности в рассматриваемом районе использованы данные о эпицентрах и распределении по глубине очагов землетрясений, представленных сотрудником Камчатской опытно-методической сейсмологической партии ГС РАН Н.П. Козыревой. Проанализирована сейсмичность района исследований (52–53,5° с.ш., 158–161° в.д.) за весь период сейсмологических наблюдений по всему диапазону глубин. Рассмотрены распределение эпицентров землетрясений различных классов для периодов длительностью 5 лет и гипоцентра землетрясений  $K_{S12}^{\Phi 68} > 11$ . На рис. 4 приведены эпицентры землетрясений  $K_{S12}^{\Phi 68} > 11$  за период 1962–1994 гг. для интервалов глубин 0–40, 40–70, 70–300 км.

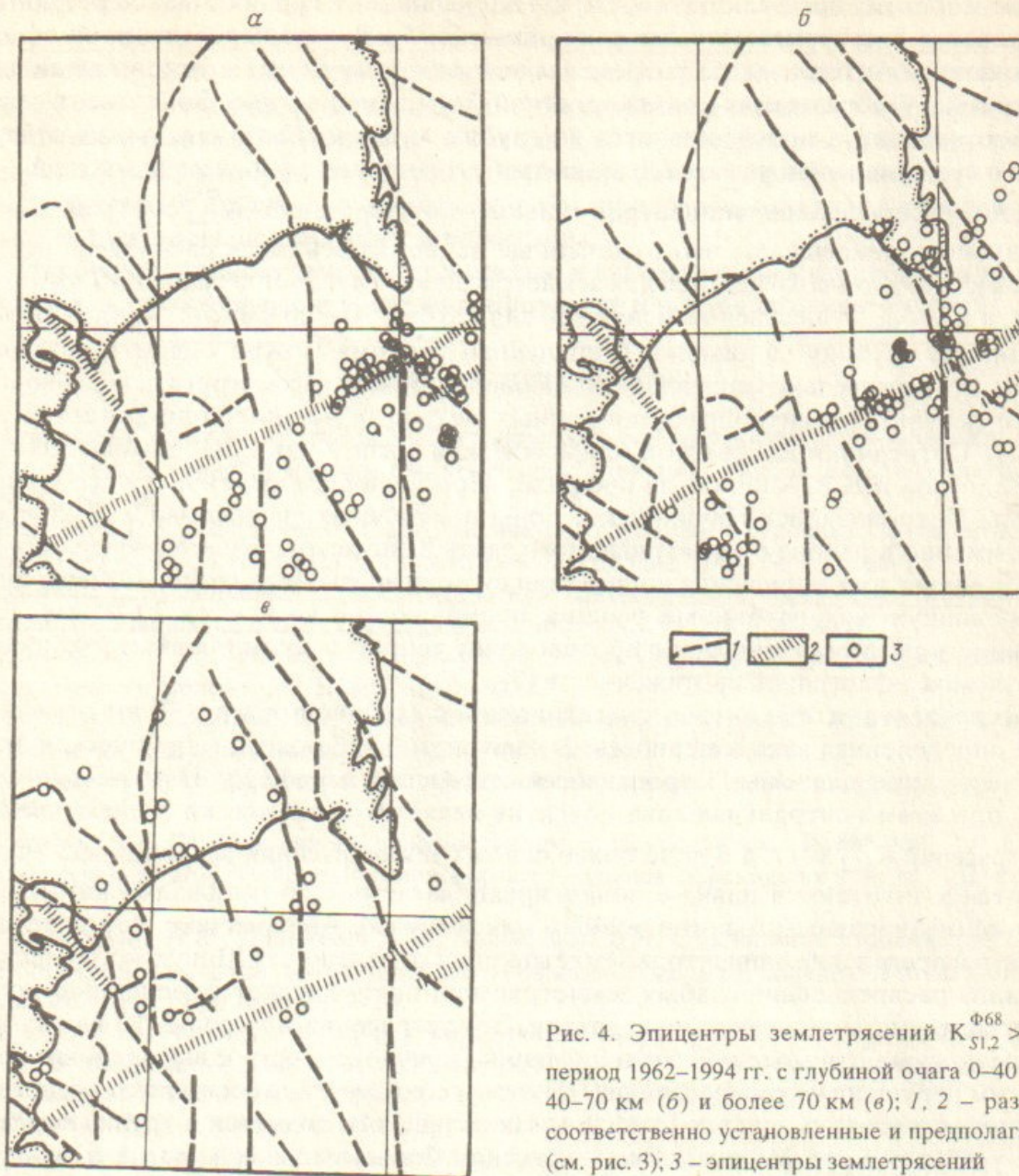


Рис. 4. Эпицентры землетрясений  $K_{51,2}^{Ф68} > 11$  за период 1962–1994 гг. с глубиной очага 0–40 км (*а*), 40–70 км (*б*) и более 70 км (*в*); 1, 2 – разломы соответственно установленные и предполагаемые (см. рис. 3); 3 – эпицентры землетрясений

Установлено, что наибольшая сейсмическая активность характерна в основном для зон двух разломов – Шипунского и Русского. Шипунский разлом фиксируется мощной гравитационной ступенью и резкой сменой морфологии АМП. В пределах Шипунского блока существование разлома подтверждается непосредственными геологическими данными, а в акваториальной части – данными морфоструктурного анализа и сейсмоакустического профилирования. Значительная (> 200 км) протяженность Шипунского разлома, концентрация на одном из его участков эпицентров сильных землетрясений, выделенные в зоне разлома протяженные разрывные нарушения неконсолидированных осадков свидетельствуют о глубинном характере разлома, древнем заложении и о его неотектонической активизации. Выделение Русского разлома представляется менее обоснованным, на возможность его существования косвенно указывает простирание и форма бухты Русской, положение северо-восточного разлома, предполагаемого по дешифрированию космических снимков в прибрежной зоне, наличие целой системы разломов аналогичного направления на п-ове Шипунском, а также приуроченность к предполагаемой разломной зоне эпицентров землетрясений. Дополнительные данные, указывающие на возможность существования Русского разлома, можно найти при рассмотрении результатов геоплотностного моделирования, выполненного по

наземно-морскому профилю ГСЗ 7-ОС О.Н. Ольшанской при обобщении результатов среднемасштабных гравиметрических съемок [1, 3]. В зоне пересечения профиля и предполагаемого разлома на разрезе выделяется зона раздела, ограничивающая с юго-востока V-образный высокоскоростной блок земной коры. Зона имеет северо-западное падение и прослеживается до глубин  $\geq 20$  км. Окончательный ответ на вопрос о существовании разлома Русский требует дополнительных исследований.

Анализ распределения эпицентров сильных землетрясений ( $K_{51,2}^{\Phi 68} > 11$ ) на различных глубинах показывает, что отмеченные выше особенности распределения эпицентров в основном сохраняются для землетрясений с глубиной очагов 0–40 и 40–70 км (рис. 4, а и б), но существенно меняются для глубин 70–300 км (рис. 4, в). Учитывая эти данные, глубину заложения Шипунского разлома можно оценить величиной  $\geq 70$  км. В качестве подтверждения такой оценки можно рассматривать недавно полученные результаты интерпретации данных метода обменных волн землетрясений (МОВЗ). Сотрудники Елизовской геофизической экспедиции ГПП "Камчатгеология" С.П. Белоусов и В.В. Мишин<sup>1</sup> на профиле, пересекающем фактически все крупные разломы Петропавловск-Начикинской зоны поперечных дислокаций и Шипунского блока, именно в районе рассматриваемого здесь Шипунского разлома выделили наиболее мощную зону нарушения корреляции субгоризонтальных границ обмена, интерпретированную как глубинный разлом, проникающий до глубин 70–75 км. Такая глубинность разлома в общем не противоречит теоретическим оценкам глубинности для разломов аналогичной протяженности [7].

В распределении эпицентров землетрясений с глубиной очага  $> 70$  км отмечается также определенная закономерность. В частности, наибольшая сейсмическая активность характерна для зоны Петропавловского горста и периферии Налычевского поднятия, при этом центральная зона поднятия является практически асейсмичной для землетрясений  $K_{51,2}^{\Phi 68} > 11$ , а в поле более слабых землетрясений асейсмичные участки сужаются и тяготеют в плане к зонам предполагаемых по геофизическим данным интрузий (интенсивным гравитационным максимумам). Аналогичное, но менее выраженное распределение эпицентров землетрясений отмечено для Шипунского горста.

Анализ распределения слабых землетрясений подтверждает отмеченные закономерности и дополняет некоторые детали. Землетрясения классов 7–10 на глубинах 0–70 км на суше относительно малочисленны, приуроченность к выделенным тектоническим нарушениям неопределенна. Некоторое исключение составляют распределение эпицентров вдоль западной границы Налычевского поднятия и группа землетрясений у Шипунского разлома. Землетрясения более высоких классов в масштабе исследований к этой картине ничего не прибавляют. Значительно большее число слабых землетрясений зафиксировано на шельфе и далее на материковом склоне. Следует отметить, что большая их часть расположена на продолжении Шипунского блока, так что северо-восточная граница Авачинского грабена разделяет область низкой и слабой сейсмичности на шельфе. Возможно, что такое распределение слабых землетрясений связано с активностью Шипунского и Русского разломов, создающих фоновую сейсмичность в близлежащих блоках, отражая повышенную сеймотектоническую активность передовой зоны Шипунского блока в целом. Детальный анализ распределения эпицентров слабых землетрясений показывает, что в зоне максимальной сейсмической активности положение эпицентров довольно хорошо коррелирует со структурным каркасом, главными составляющими которого являются выделенные по геофизическим данным разломные зоны. С учетом отмеченной корреляции представленная тектоническая схема могла бы быть дополнена рядом предполагаемых разломов северо-восточного простирания, на возможность существования которых могут

<sup>1</sup> Мишин В.В. Отчет о результатах геофизических исследований на Петропавловск-Шипунском прогностическом полигоне и региональном геофизическом профиле г. Опала – р. Вахиль, проведенных Камчатской комплексной партией геофизических исследований в 1989–1994 гг. Елизово, Камчатской обл., 1994. С. 315. ТГФ, Камчатгеолком, г. Петропавловск-Камчатский. № 15-89-6/26.

косвенно указывать линейные зоны сгущений эпицентров землетрясений. По мнению авторов, этот вопрос заслуживает более внимательного отдельного рассмотрения.

**Выводы.** 1. Основные структурные элементы Петропавловск-Начикинской зоны поперечных дислокаций и Шипунского блока прослеживаются в шельфовой зоне Авачинского залива до материкового склона и далее, где они находят продолжение в разломах и крупных морфоструктурных элементах материкового склона.

2. Выделенные крупные тектонические блоки характеризуют неоднородность не только земной коры, но, вероятно, и литосферы.

3. Наибольшей сейсмической активностью в настоящее время в пределах исследуемого района характеризуются разломы Шипунский и предполагаемый Русский.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Апрелков С.Е., Ольшанская О.Н.* Тектоническое районирование Центральной и Южной Камчатки по геологическим и геофизическим данным // Тихоокеанская геология. 1989. № 1. С. 53–66.
2. *Апрелков С.Е., Попруженко С.В.* Особенности глубинного строения Восточно-Камчатского вулканического пояса // Тихоокеанская геология. 1984. № 3. С. 68–73.
3. *Балеста С.Т., Гонтовая Л.И.* Сейсмическая модель земной коры Азиатско-Тихоокеанской зоны перехода // Вулканология и сейсмология. 1985. № 4. С. 83–91.
4. *Гнибиденко Г.С., Быкова Т.С., Веселов О.В. и др.* Тектоника Курило-Камчатского глубоководного желоба. М.: Наука, 1980. 180 с.
5. *Зубин М.И., Козырев А.Н.* Гравиметрическая модель строения Авачинского вулкана (Камчатка) // Вулканология и сейсмология. 1989. № 1. С. 81–94.
6. *Садовский М.А., Писаренко В.Ф.* Сейсмический процесс в блоковой среде. М.: Наука, 1991. 96 с.
7. *Саньков В.А.* Глубины проникновения разломов. Новосибирск: Наука, 1989. 136 с.
8. *Селиверстов Н.И.* Сейсмоакустические исследования переходных зон. М.: Наука, 1987. 112 с.
9. *Селиверстов Н.И., Надежный А.М., Бондаренко В.И.* Особенности строения дна заливов Восточной Камчатки по результатам геофизических исследований // Вулканология и сейсмология. 1980. № 1. С. 38–50.
10. *Ривош Л.А.* Геомагнитная характеристика главных тектонических структур Востока СССР, переходной зоны от Азиатского континента к Тихому океану и абиссального дна последнего // Геология и геофизика. 1964. № 5. С. 38–51.
11. *Шарапов В.Н., Симбирева И.Г., Бондаренко П.М.* Структура и геодинамика сейсмофокальной зоны Курило-Камчатского региона. Новосибирск: Наука, 1984. 198 с.
12. *Gnibidenko H.S., Svarichevskaya L.V.* The submarine canyons of Kamchatka // Marine Geology. 1984. № 54. P. 277–307.

Институт вулканической геологии  
и геохимии ДВО РАН,  
Петропавловск-Камчатский

Поступила в редакцию  
29.05.1995