РЕЗУЛЬТАТЫ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ГЛУБИННЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ, ПРОВЕДЕННЫХ В РАЙОНЕ КАМЧАТСКОГО ПЕРЕШЕЙКА И МАТЕРИКОВОЙ ЧАСТИ КАМЧАТСКОГО КРАЯ В СВЕТЕ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ В ОЛЮТОРСКОМ РАЙОНЕ

Нурмухамедов А.Г.

ОАО «Камчатгеология», Петропавловск-Камчатский, geo-elz@mail.kamchatka.ru

Введение

В конце семидесятых годов прошлого столетия была разработана долговременная программа исследований земной коры и верхней мантии методами магнитотеллурического зондирования (МТЗ) и обменных волн землетрясений (МОВЗ). К первым региональным работам МТЗ (без постановки МОВЗ) приступили в 1979 г. на профиле п. Усть-Большерецк – м. Шипунский. Основной целью работ являлось изучение глубинного строения земной коры и верхней мантии в областях сейсмической активности и современного вулканизма. В последующем исследования осуществлялись по сети региональных профилей (см. рис. 1). Всего было отработано 8 региональных профилей, где была осуществлена постановка геофизических методов МОВЗ и МТЗ. Работы послужили основой для анализа и обобщения глубинных исследований МТЗ на Камчатке. Но кроме этого использовалась информация и из других источников. В частности, в обобщении применялись данные МТЗ, полученные Восточным Геофизическим Трестом (Ю.Ф. Мороз, Ю.А. Корбух и др., 1972, 1974, 1977; И.П. Шпак, Ю.А. Корбух, П.М. Серова и др., 1973, 1974) и другими производственными организациями. Активно использовалась информация ряда научных публикаций, в том числе [4, 5, 6]. Отработка профиля п. Корф – п. Верх. Пенжино осуществлялась совместно с предприятием Центр "ГЕОН" ГФУП "ВНИИГеофизика" (г. Москва).

Методика исследований

В полевых работах в разные годы применялись различные аппаратурные комплексы, от цифровых станций отечественного производства ЦЭС-2, до современных аппаратурнопрограммных комплексов канадского производства МТU-5 (5A, 2E). Диапазон регистрируемых периодов МТ-поля составил от 1 – 10 с до 1000 – 1500 с. Станции серии МТU дают возможность начать регистрацию вариаций начиная от 300 – 400 Гц (0,0033 – 0,025 с). Длина электрических диполей составляла от 100 м, при работе со станциями ЦЭС-2, ЭИН-МТЗ, до 40 м при работе с МТU-5. В качестве датчиков магнитного поля использовались индукционные датчики (ИД) из комплектов станций. Азимуты установки составили X - 120°; Y - 30°. Обработка материалов математической фильтрации с последующим выполнена по алгоритму узкополосной компонент импеданса способом определением тензора наименьших квадратов. Среднеквадратическая ошибка определения модуля эффективного импеданса по данным контрольных наблюдений составляла 2 – 4%.

Интерпретация материалов МТЗ проводилась по двум направлениям: первое - создание глубинных геоэлектрических моделей земной коры и верхней мантии; второе - получение геоэлектрических разрезов неконсолидированной коры. Анализ полярных диаграмм, амплитудных кривых и их возможных искажений показал целесообразность использования в первом случае продольных [5, 7], а во втором – эффективных кривых.

Численное моделирование выполнялось путём итерационного подбора модели в основном с помощью программы 2DMOD [8] при условии Е-поляризации поля с введением в модель толщи морской воды (0.3 Ом·м) в сопредельных морских акваториях. Сопротивление остальных элементов модели подбиралось из условия удовлетворительной сходимости экспериментальных и теоретических (расчётных) кривых по форме и уровню. По такой методике проводилось двумерное моделирование по всем региональным профилям за исключением профиля п. Корф – п. Верх. Пенжино. Здесь интерпретация МТ-данных осуществлялась силами Центр «ГЕОН»а и варианты глубинного геоэлектрического разреза получены в результате 1D- и 2D-инверсии кривых МТЗ [2].

Особенностью геоэлектрических разрезов неконсолидированной коры, особенно в восточной части разрезов, является их значительная латеральная неоднородность, которая затрудняет прослеживание геоэлектрических границ от точки к точке. Наиболее сопоставимый с

другими геофизическими методами и геологической съёмкой результат получен по методике одномерной S-интерпретации с применением процедуры так называемой S-нормализации кривых скользящим окном по 2, 3, 5-и точкам (интерпретационный пакет программ МТ-ЭКРАН-РС).

От профиля к профилю была осуществлена корреляция границ наиболее крупных геоэлектрических неоднородностей. В результате чего была построена карта (рис. 1) геоэлектрических структур в земной коре и верхней мантии, выделенных по данным МТЗ.



От профиля к профилю была осуществлена корреляция границ наиболее крупных геоэлектрических неоднородностей. В результате чего была построена карта (рис. 1) геоэлектрических структур в земной коре и верхней мантии, выделенных по данным МТЗ.

Краткий анализ полученных данных

Ещё на стадии производства региональных работ по субширотным профилям особый интерес вызвали результаты работ МТЗ по профилю п. Лесная – п. Оссора (2000 – 2002 г.г.), пересекающему Камчатский перешеек в его центральной части (рис. 2). В процессе численного моделирования была достигнута убедительная сходимость экспериментальных и расчётных кривых МТЗ (фазовых и амплитудных) [3]. Первый же анализ полученных результатов показал уникальность разреза по отношению ко всем профилям, ранее отработанным в южной и центральной частях полуострова. Уникальность состоит, прежде всего, в чётком разделении разреза на западную, относительно низкоомную часть (100 - 1000 Ом·м) и восточную – высокоомную (400 – 6000 Ом·м). Более того, в восточной части разреза в интервале глубин 2 – 30 км выделен обособленный аномально высокоомный объект с удельным сопротивлением, достигающим 10000 Ом·м.



Рис.2 Глубинная двумерная геоэлектрическая модель по региональному профилю п. Лесная – п. Оссора. 1 – блоки различного удельного сопротивления: границы блоков (а), значения сопротивления в Ом*м (б), информация о верхних маломощных геоэлектрических горизонтах: первая цифра – номер горизонта, в скобках – значение сопротивления в Ом*м и мощность в километрах (в); 2 – разметка профиля в километрах (а), проекция точек МТЗ на линию профиля (б); 3 – номера зон, выделяемых в процессе моделирования.

Ограничения по объёму публикации не позволяют изложить всю полноту геологогеофизической информации по анализируемому району. Тем не менее, следует отметить, что подобная картина распределения электропроводности в значительной степени повторяется в глубинном геоэлектрическом разрезе в восточной части профиля м. Утхолок – п-ов Озерновский (С.В. Попруженко, А.Г. Нурмухамедов, В.В. Недядько, 2004), расположенного в южной части перешейка. Менее ярко, но, тем не менее, достаточно уверенно эта картина наблюдается и в глубинном разрезе по профилю Ш – Ш (Шпак И.П., Корбух и др., 1973), расположенном в северной части перешейка. Чёткое разделение на низкоомную (10 – 200 Ом⋅м) западную и аномально высокоомную (от 400 – 600 Ом⋅м и более) восточную части отмечено в геоэлектрическом разрезе по профилю, расположенному чуть южнее профиля п. Лесная – п. Оссора, вдоль реки Левая Лесная – см. рис. 1 (Ю.Ф. Мороз и др., 1974).

Таким образом, по четырём сечениям зафиксирован уникальный геоэлектрический разрез. Здесь сочетание глубинного проводника (10 – 40 Ом·м) и выше расположенного аномально высокоомного объекта (6000 – 10000 Ом·м) в столь значительных объёмах в Камчатском регионе обнаружено впервые [3, 7]. Кроме этого, по ряду параметров уникальность разреза подтверждалась результатами сейсморазведки МОВЗ [3].

В результате комплексной интерпретации геолого-геофизических данных в восточной части исследуемой территории выделен палеосубокеанический тип земной коры, осадочный чехол которой превращён в метаморфический фундамент [3]. В своей западной части данная кора сочленяется (взаимодействует) с континентальной корой. Взаимодействие носит характер *обдукции* [7], т.е. надвига литосферной плиты океанического типа на краевую часть литосферной плиты материкового типа. Очевидно, под влиянием обдукции произошло смещение в западном направлении глубинной проводящей структуры, линейно простирающейся вдоль всего полуострова (см. рис.1). Амплитуда этого выступа составляет десятки километров в южной и северной частях Камчатского перешейка. Характерные перегибы на границах выступа совпадают с глубинными разломами алеутского направления. Выделен фронт обдукции, положение которого хорошо согласуется с результатами геологической съёмки (Геологическая карта, 2005).

Есть основание предполагать, что Олюторские землетрясения 1991 и 2006 годов явились прямым следствием обдукции, то есть взаимодействия литосферных плит различного типа. Обдукция могла стать причиной замыкания Пенжинского палеорифта [1] в неокоме. Очевидно, формирование гигантского надвига началось несколько ранее процесса замыкания рифта – возможно в верхней юре. И в этом случае возраст его формирования составляет не менее 140 – 150 миллионов лет. Не исключено, что повышенная сейсмичность северо-западных окраин палеосубокеанической плиты является результатом процессов как обдукции, в северо-западном направлении со стороны Тихого океана, так и субдукции со стороны Пенжинского рифта в юговосточном направлении. Два этих геодинамических процесса (см. рис. 3) в какое то время могли существовать одновременно, во всяком случае, до момента замыкания палеорифта.



Рис. 3 Аппроксимация аномально низкоомных объектов единой зоной. 1 – проекции гипоцентров землетрясений по линии профиля; 2 – аномально низкоомные объекты: в земной коре и верхней мантии (а), в верхней части земной коры (б), объединенная зона (в), предполагаемые движения, отождествляемые с процессами обдукции (г), предполагаемые движения, отождествляемые с процессами субдукции (д); 3 – разметка профиля в километрах (а), точки МТЗ (б).

Обсуждение результатов

Основываясь на сопоставлении результатов интерпретации геоэлектрических разрезов с морфологией гравитационного поля, предложен вариант продолжения фронтальной части обдукции (межплитной границы) далее в северо-восточном направлении. В рисунке 4 вынесены границы анализируемой коры и генерализованная линия Ирунейско-Ватынского надвига. Кроме этого на схему вынесены известные рудные районы: Северо-Камчатский, Ильпинский, Ильпырский. Обращает на себя внимание, что расположены они в краевой западной (северозападной) части палеосубокеанической плиты. Как представляется, именно эта часть плиты в наибольшей степени подвергнута региональному метаморфизму.

В предложенной схеме Ильпинско-Тылговаямский прогиб расположен в предфронтальной части обдукции. Именно в этом районе к северо-востоку от посёлка Хаилино в апреле и мае месяцах 2006 г. произошла серия катастрофических (М = 7,8 - 8) землетрясений. Как уже было отмечено, это не первое крупное сейсмическое событие. В этом же районе произошло сильное



землетрясение (M = 7) 8 марта 1991 г. Всё это говорит о том, что активные геодинамические процессы в зоне обдукции продолжаются и в настоящее время.





1 - региональные профили: а) отработанные, б) предполагаемый к отработке; 2 - границы структурно-формационных зон и их названия (Г - Гижигинская, П - Пенжинская, ЦКР - Центральнокорякская, Х - Хатырская, О - Олюторская, ЗК - Западно-Камчатская, ЦК - Центрально-Камчатская, ВК - Восточно-Камчатская, Пр - Приокеанская; 3 - а) предполагаемая межплитная граница (фронт обдукции), б) фрагмент палеосубокеанической плиты; 4 - Ирунейско -Ватынский надвиг (геологическая карта 2005 г.); 5 - границы Ильпинско-Тылговаямского прогиба; 6 - предполагаемые границы Пенжинского палеорифта; 7 - эпицентр землетрясения (20 апреля 2006 г., 23:25 по Гринвичу); 8 - Рудные районы и их названия: 1 - Северо- Камчатский, 2 - Ильпинский, 3 - Пылгирский; 9 - Палеозона Беньофа, выделенная по геоэлектрическим разрезам МТЗ.

Узкий, линейно вытянутый Ильпинско-Тылговаямский прогиб унаследован от системы глубинных разломов северо-восточного направления (аз. 30° - 40°). Вероятно здесь, на границе плит, на протяжении геологического времени сформирована ось напряжения того же простирания. В результате тектонических подвижек, связанных с периодическим оживлением горизонтальных движений восточной (обдуцированной) плиты происходит разгрузка геологической среды в виде сейсмических событий от незначительных толчков до катастрофических землетрясений.

По фиксируемым в геоэлектрических разрезах фрагментам палеозоны Беньофа на рисунке 4 выделена вся зона от южной части Камчатского перешейка до материковой части Камчатского края включительно. Обращает на себя внимание, что осевая часть палеозоны практически совпадает с границей между Пенжинской и Центрально-Корякской зонами и вплотную примыкает к границе между Западно-Камчатской и Центрально-Камчатской зонами. Предлагаемое проложение Пенжинского рифта, в его северо-восточной части [2], совпадает с границей между Гижигинской зоной (Омолонским массивом – по [1]) и Пенжинской зоной. Очевидно, такие "совпадения" не случайны. Выделенные по данным МТЗ структуры вероятно имеют прямое отношение к формированию границ между выше указанными структурно-формационными зонами.

Список литературы

1. Апрелков С.Е., Декина Г.И., Попруженко С.В. Особенности геологического строения Корякского нагорья и бассейна реки Пенжины // Тихоокеанская геология.1997. Том 16. № 2. С. 46-57.

2. Белявский В.В., Золотов Е.Е., Ракитов В.А., Нурмухамедов А.Г., Попруженко С.В., Шпак И.П., Храпов А.В. Глубинная сейсмогеологическая модель Охотско-Чукотского вулканогенного пояса и Центрально-Корякской складчатой зоны в пределах профиля Корф – Верхнее Пенжино. // Олюторское землетрясение (20 (21) апреля 2006 г. Корякское нагорье). Первые результаты исследований. Петропавловск-Камчатский: ГС РАН, 2007. С. 277-288.

3. Мишин В.В., Нурмухамедов А.Г., Белоусов. С.П. Палеосубокеанический тип земной коры на северовостоке Камчатки // Тихоокеанская геология. 2003. № 5. С. 58–72.

4. Мороз Ю.Ф. Обобщённая геоэлектрическая модель Камчатки. Электропроводность земной коры и верхней мантии Камчатки. Л.: Недра, 1991. 184 с.

5. Мороз Ю.Ф., Нурмухамедов А.Г., Лощинская Г.А. Магнитотеллурическое зондирование земной коры Южной Камчатки // Вулканология и сейсмология. 1995. № 4-5. С. 127-138.

6. Мороз Ю.Ф., Нурмухамедов А.Г. Глубинная геоэлектрическая модель области сочленения Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг // Физика Земли. 2004. № 6. С. 54 – 67.

7. Нурмухамедов А.Г. Модель геоэлектрического разреза по профилю п. Лесная – п. Оссора по данным магнитотеллурического зондирования (район Камчатского перешейка) // Тез. докл. Первая Всероссийская школа-семинар по электромагнитным зондированиям Земли. Москва: МАКС Пресс, 2003. С. 41.

8. Wannamaker P.E., Stadt J.A., Rejol A. A stable finite element solution for two-dimentional magnetotellure modeling // Geophys. J. R. Astr. Soc. 1987. V. 88. P 277-296.