

## ГЕОФИЗИКА

УДК 550.834(265.54)

### СТРОЕНИЕ ВОСТОЧНОГО ШЕЛЬФА ПОЛУОСТРОВА КОРЕЯ ПО СЕЙСМИЧЕСКИМ ДАННЫМ

**Г.И. Аносов\***, **Б.-Ч. Сок\*\***, **В.В. Аргентов\*\*\***, **С.К. Биккенина\*\*\***,  
**В.В. Жигулев\*\*\***, **К.Ф. Сергеев\*\*\***

*\*Институт вулканологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский*

*\*\*Корейский институт океанологических исследований и развития, г. Сеул*

*\*\*\*Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск*

В статье приводятся результаты сейсмических исследований методом преломленных волн (МПВ) на восточном шельфе п-ва Корея, выполненных весной 1993 г. в рамках совместных Российско-Южно-корейских проектов изучения глубинного строения Цусимской впадины Японского моря. Наблюдения проведены на НИС "Морской Геофизик" с использованием автономных донных сейсмических станций (АДСС) и 30-ти литрового пневмоизлучателя.

Полученные данные, в комплексе с имеющимися здесь сейсмическими материалами по отраженным волнам, позволили установить строение верхней части земной коры и изучить взаимоотношение структур шельфа и Цусимской впадины.

По комплексу имеющихся сейсмических и геологических данных поставлен вопрос о пересмотре возможных перспектив нефтегазоносности восточного шельфа п-ва Корея и рекомендованы дополнительные геофизические исследования с целью их уточнения.

**Ключевые слова:** шельф, метод преломленных волн, рефрагированная волна, волновое поле, моделирование, сейсмический разрез, разломы, нефтегазоносность.

Информация о строении шельфа восточной Кореи приводится во многих обобщающих работах [30, 36 и др.], однако в их основе использовались, как правило, лишь данные одноканального сейсмического профилирования с привлечением результатов сухопутных исследований преломленными волнами.

По сейсмическим данным в строении осадочного чехла в первом приближении устанавливается наличие трех сейсмостратиграфических комплексов [45]. Первый из них - так называемый акустический фундамент (слой I) - представлен толщей с резко расчлененной поверхностью. Гипсометрически выше с заметным несогласием залегают осадки миоценового возраста (слой II). Самые верхние осадки (слой III), как правило, согласно перекрывают нижележащую толщу (слой II). Однако в ряде мест они залегают непосредственно на акустическом фундаменте. В целом же, как акустические характеристики и степень деформированности комплексов, так и взаимоотношения между ними, а самых нижних - с фундаментом достаточно резко меняются по площади.

Картина еще более усложняется широким развитием здесь разломных зон северо-восточного про-

стирания, большинство которых трассируется цепочками небольших штоков позднемиоценовых границ [15]. Несомненно, это может существенно изменить акустические свойства и структуру границ прежде всего в нижних горизонтах комплексов. Не исключено поэтому, что восточное продолжение гранитного мелового массива Рем является логическим разделом между осадочными бассейнами северной части восточного шельфа Кореи (район бассейна Мукхо) и таковыми его южного фланга (бассейны Хупхо и Пхохан).

В 1993 г. по инициативе Корейского института океанологических исследований и развития (KORDI) совместно с Институтом морской геологии и геофизики ДВО РАН на трех профилях (III - V), расположенных на шельфе восточного побережья полуострова Корея и во впадине Цусима, были проведены исследования МПВ (рис.1) для изучения строения геологического фундамента. Эти данные, с учетом ранее полученных, в прилегающей Цусимской впадине [1] дают возможность оценить тектоническую позицию структур шельфа и характер их сочленения с прилегающей впадиной.

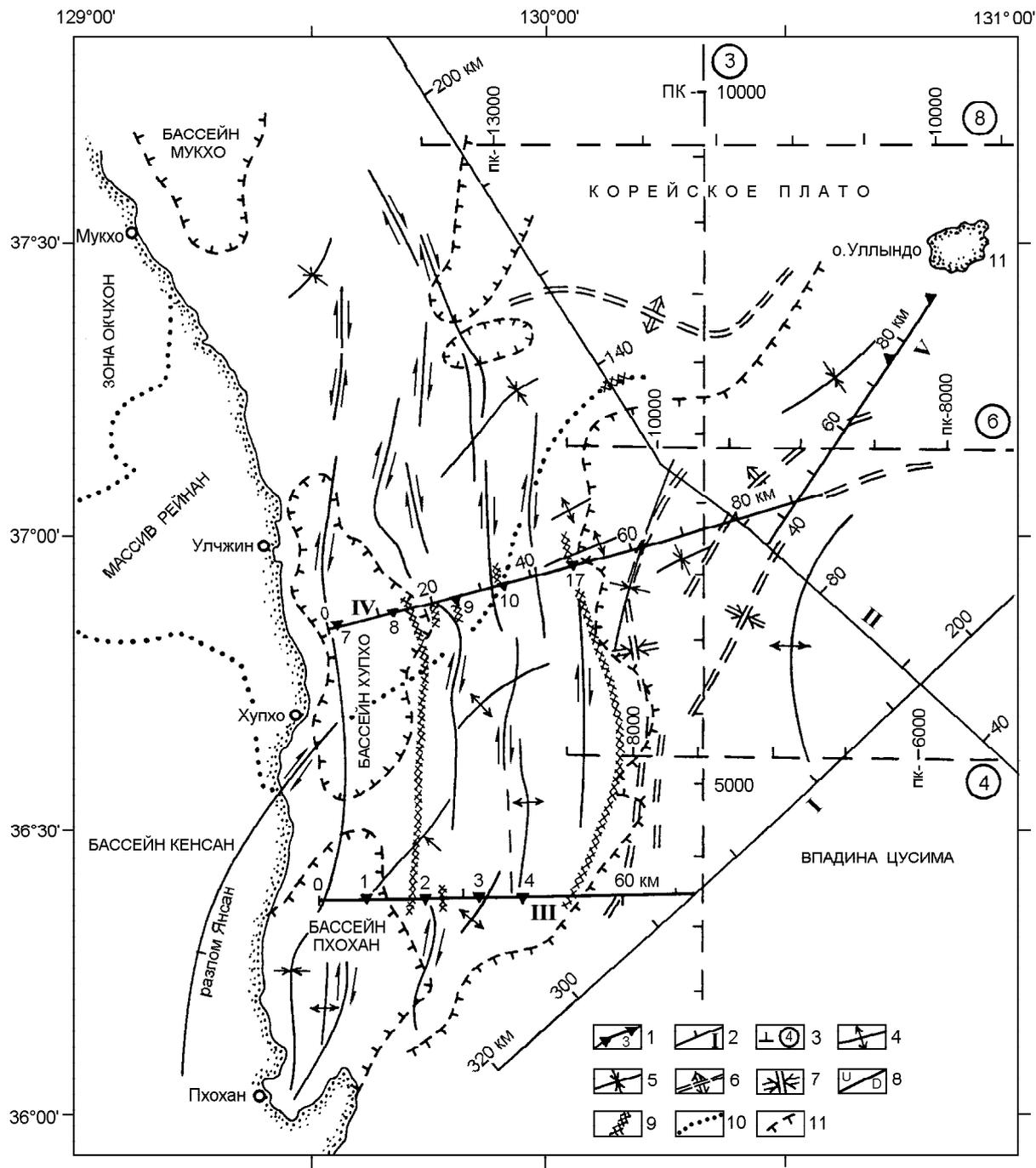


Рис. 1. Структурная схема района исследований, по [28] с дополнениями.

Профили: МПВ 1993 (1) и 1991 (2) гг., 3 - МОВ ОГТ [38], цифры в кругах и римские - номера профилей, цифры у бергштрихов - пикетаж; оси антиклинальных (4) и синклинальных (5) структур по данным НСП; оси антиклинальных (6) и синклинальных (7) структур кристаллического фундамента по данным МПВ и ОГТ; разломы, установленные по данным: 8 - НСП, 9 - МПВ и ОГТ; 10 - границы тектонических провинций; 11 - бассейны.

### СТРУКТУРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ ПРОФИЛЕЙ

Профиль III расположен к востоку от сухопутного бассейна Кенсан [28]. Осадочный чехол последнего выполнен меловыми континентальными отложениями, прорванными гранитами от позднемелового до раннетретичного возраста [14,15]. Осадочный чехол подстилается докембрийским гнейсовым комплексом. По гравиметрическим данным мощность меловых отложений в районе сухопутного бассейна Пхохан достигает величины около 2 км и прогрессивно увеличивается в сторону моря [28]. На

вого до раннетретичного возраста [14,15]. Осадочный чехол подстилается докембрийским гнейсовым комплексом. По гравиметрическим данным мощность меловых отложений в районе сухопутного бассейна Пхохан достигает величины около 2 км и прогрессивно увеличивается в сторону моря [28]. На

продолжении профиля III на суше в верхней части разреза меловых отложений развит вулканогенный комплекс пород [30, 38], который состоит, главным образом, из андезитовых и риолитовых лав и туфов, располагающихся между угольными сланцами, песчаниками и конгломератами. Суммарная мощность меловых отложений здесь может достигать 10 км. Согласно данным бурения, верхнемеловые туфогенные песчаники и андезитовые конгломераты, вскрытые на глубинах 600-700 м, характеризуются скоростями продольных волн в пределах 4,7-4,9 км/с [37, 39]. Для миоценовых осадков скорости не превышают 2,05 км/с (в среднем). По данным исследований МПВ в шельфовой части бассейна Пхохан [44] эти осадки на глубинах 1900-2000 м подстилаются гранитоидными или высокометаморфизованными породами архея и протерозоя ( $V=6,3$  км/с). Миоценовые отложения здесь имеют мощность порядка 500 м, а четвертичные - около 100 м. По данным отраженных волн [45] в районе профиля III вблизи побережья (около 20-го км профиля) тонкий слой неконсолидированных осадков (т.н. слой III) несогласно залегает на акустически стратифицированном и складчатом комплексе (слой I), который, вероятно, коррелируется с нижним полуконсолидированным слоем третичных отложений (ранний-средний миоцен) близлежащей суши. Восточнее 20-го км профиля этот слой подстилается акустически непрозрачным комплексом акустического фундамента, который далее перекрывается двумя осадочными слоями с суммарной мощностью от нескольких десятков метров - на западе до более 1 км - у подножия континентального склона. На прилегающей к профилю суше третичные отложения представлены вулканогенными породами ранне-средне-эоценового возраста и морскими конгломератами среднего миоцена [44].

*Профиль IV* расположен к востоку от наземной зоны массива Рэйнан (рис.1). Массив сложен докембрийскими высокометаморфизованными гнейсами и кристаллическими сланцами от амфиболитовой до гранулитовой фаций метаморфизма [28]. Профиль пересекает следующие структуры: бассейн Хупхо, банку Хупхо, структуры континентального склона и выходит во впадину Цусима. По данным предыдущих исследований [45], бассейн Хупхо заполнен клинообразной осадочной толщей неконсолидированных осадков (слои II, III) мощностью от 0 на западе до 800 м в районе сочленения этого бассейна с одноименной банкой Хупхо (15-ый км пр.IV).

Банка Хупхо представляется выраженной либо образующими антиклиналь осадками слоя I, либо является поднятием вулканогенного фундамента. Осадочные отложения деформированы и

распространены фрагментарно. Самая верхняя часть деформированных осадков эродирована и несогласно перекрыта плоскозалегающим тонким поверхностным слоем отложений (слой III) новейших осадков.

В пределах верхнего склона осадки имеют мощность около 800 м. Верхняя их часть, мощностью до 250 м, слабо дислоцирована и слабо нарушена. Акустический фундамент несогласно перекрывается слоями II и III, которые характеризуются ненарушенностью и акустически хорошо стратифицируются.

Профили III и IV пересекают ряд разломов (рис. 1). Главные разломы фундамента и разломы, пронизывающие фундамент и осадки, являются частью правосторонней сдвиговой системы или входят в систему наземной разломной зоны Янсан, которая контролирует развитие описанных структур с запада [44]. Эта система тектонических нарушений представляет собой, в целом, хорошо развитую систему разломов разного структурного порядка от главных тектонических сдвигов до второстепенных, иногда локальных лево- и правосторонних сдвигов и складок второго порядка. Главным признается сдвиг, простирающийся с севера на юг и ограничивающий банку Хупхо с запада. Все эти сдвиги имеют черты т.н. разломов со сдвигами по простиранию и поперечного раскрытия [41], а впадины морфологически имеют все признаки передовых межгорных (наложенных ?) бассейнов [12, 21].

Остров Уллындю, к южному склону которого примыкает северо-восточный конец *профиля V*, представляет собой надводную часть крупной вулканической постройки, основой которой служит цоколь группы возвышенностей Уллындю [29]. Эта постройка имеет коническую форму с диаметром основания около 35 км [19]. Согласно [4], вулканические проявления в районе острова прослеживаются с раннего-среднего миоцена по настоящее время. Состав вулканических продуктов варьирует в диапазоне от щелочнобазальтового до трахитового рядов. Драгированием подводного цоколя этой вулканической постройки во многих местах установлено наличие метаморфизованных сланцев, гнейсов и гранитов, имеющих домезозойский возраст, что свидетельствует о том, что эта постройка может иметь генетическую связь со структурой Корейского полуострова [19].

На геологической карте [5] о. Уллындю располагается на стыке Корейского плато и впадины Цусима. Более того, как показали новейшие исследования, этот район имеет признаки как сводового поднятия, так и линейного вулканического хребта, расположенного вдоль субширотного разлома [40].

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РАБОТЫ

Экспериментальные работы выполнялись на НИС “Морской Геофизик” с использованием автономных донных сейсмических станций (АДСС), сконструированных и изготовленных в СКБ САМИ ДВО РАН (г. Южно-Сахалинск).

АДСС имеют общепринятую конфигурацию, позволяют вести регистрацию вертикальной и горизонтальных компонент сейсмических волн, состоят из блока сейсмических датчиков и регистрирующего блока с необходимым комплектом усилителей, автоматики и источников питания. Сейсмические сигналы в аналоговом виде регистрируются на компактной магнитной кассете на двух уровнях, как для вертикальной (Z) составляющей, так и для суммарных горизонтальных компонент (X+Y) этого сигнала. Полоса частот регистрируемых колебаний находится в пределах 5-30 Гц, а мгновенный динамический (суммарный, на двух уровнях) диапазон достигает не менее 60 дБ.

Все блоки станции помещены в титановый цилиндрический контейнер. Общий вес АДСС - не более 36 кг, максимальная глубина постановки - до 6500 м.

Автономность использованных АДСС с регистрацией сигналов на кассету типа МК 120 не превышает 30 часов. Однако наличие программированной задержки включения лентопротяжного механизма (АМЗ) с максимальным временем задержки до 36 часов позволило выполнять работы согласно технического задания и программы исследований. При всех постановках использовалась методика, которая принята в ИФЗ РАН [11].

Излучение сейсмических сигналов обеспечивалось пневмоизлучателем ПИ-1-15 (аналог ПИ-5) с объемом рабочей камеры 30 литров, с интервалом две минуты, фактически соответствующим 150-200 метрам между соседними трассами сейсмограмм. Давление сжатого воздуха, используемое в пневмоизлучателе, достигало: по высокому режиму - 12 МПА, по низкому - (0,3-0,7) МПА. Этот режим работы излучателя обеспечивает амплитуду первой волны давления (на расстоянии 1 м) 0,8 МПА [22].

Исследования МПВ выполнялись по схеме профильных наблюдений с получением полной системы встречных и нагоняющих годографов. Используя опыт работ МПВ на шельфе о. Сахалин [3], донные станции расставлялись вдоль профилей с шагом 8-12 км с таким расчетом, чтобы поверхность фундамента при ожидаемой длине годографа не менее 35 - 40 км была изучена, по крайней мере, двухкратными наблюдениями. Для решения поставленных задач на трех профилях было выполнено 14 постановок донных станций (табл. 1), из которых 11

дали материал удовлетворительного качества, несмотря на повышенный фон микросейсм и сильные придонные течения.

В процессе наблюдений каждая линия “протрелки” МПВ сопровождалась эхолотированием. Плановая привязка точек наблюдений и мест постановок АДСС выполнялась с применением навигационной системы GPS-NAVSTAR и спутниковой системой НСС - “Цикада” с приемо-индикатором “Шхуна-2”, а также навигационной системой LORAN-C (приемо-индикатор JVA-760). В дальнейшем, при обработке полученных данных, местоположение пунктов излучений и приема согласовывались, как это рекомендуется [10], с временами прихода “водных” волн. Фактическая точность определения места составила не менее 150 м.

### ИНТЕРПРЕТАЦИЯ

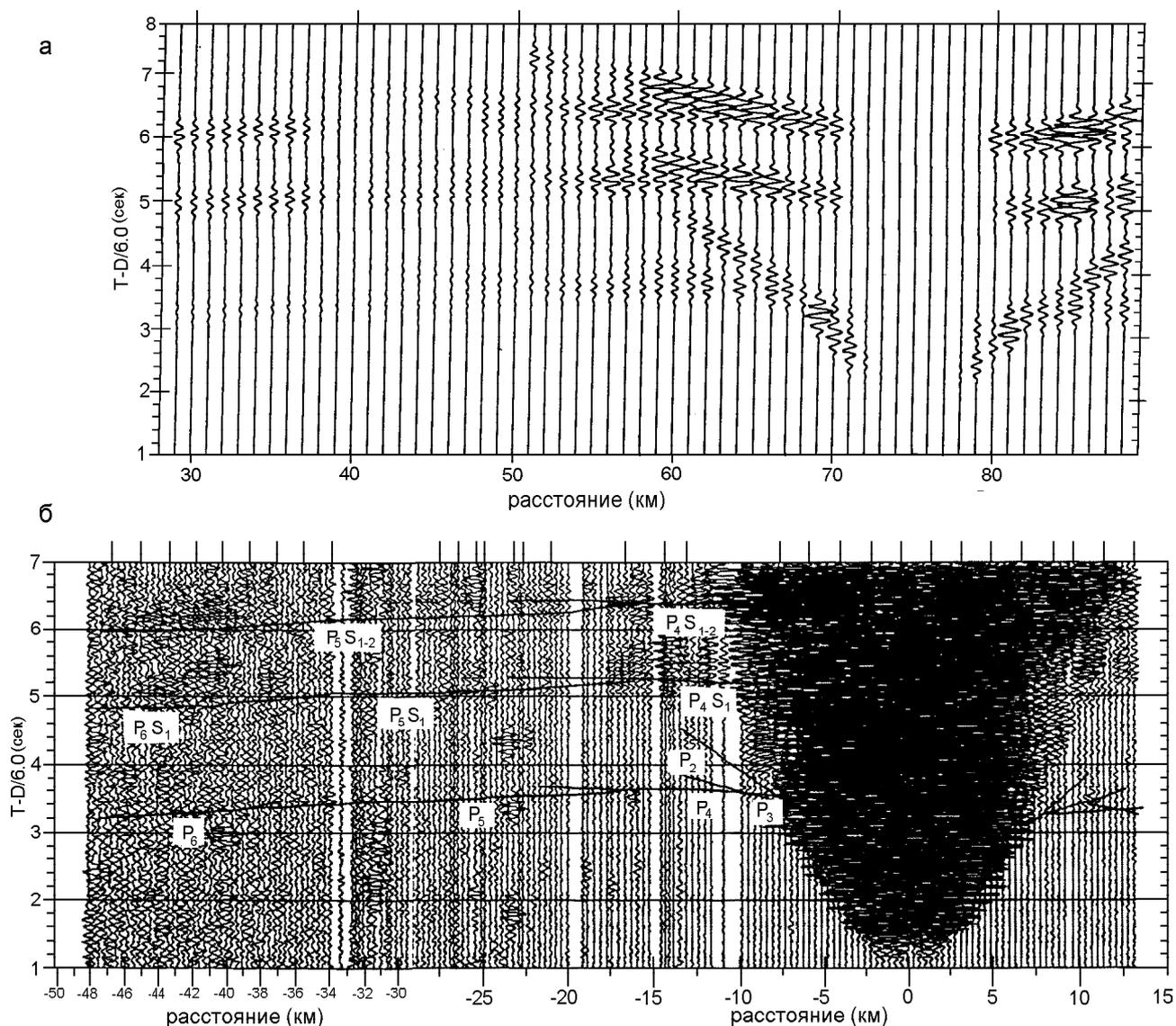
*Краткая характеристика волн.* В районе исследований, как и в шельфовых областях других регионов (например [3]), структура и динамика записей сейсмических волн зависит от местоположения АДСС на исследуемых профилях, отражая многообразие и изменчивость сейсмогеологических условий (рис. 2 - 5).

В Цусимской впадине получены наиболее длинные годографы (до 50 км), а волновое поле представлено наибольшим количеством волн, параметры которых подобны описанным нами ранее [1]. Основные его особенности заключаются в следующем.

Непосредственно от пункта возбуждения (ПВ) и до 15 - 20 км от него в первых вступлениях прослеживаются преломленные волны, отражающие внутреннюю структуру осадочно-вулканогенного слоя непосредственно под морским дном. В этом интерва-

Таблица 1. Координаты постановок АДСС.

№ п/п	№ АДСС	Широта, сев.	Долгота, вост.	Глубина, м
Профиль III				
1	1	36°22.5'	129°35.5'	200
2	2	36°22.5'	129°44.0'	130
3	3	36°23.0'	129°51.4'	400
4	4	36°23.0'	129°56.9'	670
Профиль IV				
5	7	36°51.1'	129°32.5'	160
6	8	36°52.3'	129°40.0'	200
7	9	36°54.0'	129°48.0'	430
8	10	36°54.9'	129°54.2'	830
9	17	36°56.8'	130°02.7'	2100
Профиль V				
10	22	37°17.9'	130°43.4'	2200
11	23	37°23.5'	130°48.1'	2000



**Рис. 2.** Сейсмограммы (а - синтетическая, б - наблюдаемая), иллюстрирующие запись сейсмических волн во впадине (пр. V, ст. 22).

Линии на сейсмограммах - вычисленные годографы; индексация волн - см. табл. 2.

ле кажущиеся скорости волн быстро увеличиваются от 1,7 - 1,9 км/с до 5,0 - 5,4 км/с (рис. 5), а годографы волн первых вступлений имеют, как правило, форму ломаных линий. Зачастую можно осуществлять надежную корреляцию волн первых вступлений во вторые после их смены последующими вступлениями. Кроме того, в ряде случаев так же надежно осуществляется корреляция волн вторых вступлений, которые связаны с т.н. выпадающими (тонкими) слоями или которые могут представлять т.н. дуплексные волны, отраженные от крутонаклонных (сбрасывателей разломов) границ [13].

Начало прослеживания каждой из выделенных волн сопровождается, как правило, увеличением амплитуд, которое обусловлено, скорее всего, од-

новременной регистрацией преломленных и отраженных волн в областях начальной точки [16]. В целом же амплитуды преломленных волн постепенно уменьшаются с удалением от ПВ, однако с более резким спадом, нежели это следует из теории для простых градиентных сред [9].

Всего же с осадочно-вулканогенным слоем связано четыре волны ( $P_{1-4}$ ), распространяющихся в соответствующих слоях разреза со скоростями, указанными в табл. 2.

На удалении более 15 - 20 км от ПВ в первых вступлениях прослеживаются волны  $P_5$  и  $P_6$ , образовавшиеся в верхних слоях кристаллической части земной коры. Их кажущиеся скорости воз-

растают примерно от 6,0 км/с - в начале, до 6,4 - 6,7 км/с - в конце интервала прослеживания. Хотя эти волны и следятся на значительных интервалах, их амплитуды малы и зачастую сопоставимы с сейсмическим фоном, и поэтому не всегда возможна их уверенная корреляция (рис. 2). Смены этих волн не четкие, хотя начало регистрации каждой из них сопровождается, как правило, увеличенными амплитудами колебаний.

Волны, которые в районе исследований можно было бы связать с поверхностью Мохоровичича, при реализованных длинах годографов выделить не удастся, хотя эти длины превышают 50 км и, по аналогии с профилями I и II [1], как будто бы достаточны для их регистрации. Отсутствие волн М, по-видимому, обусловлено либо тем, что глубинные части профилей III, IV и V располагаются в пределах

переходных (нарушенных) зон между впадиной и Восточно-Корейским шельфом, Корейским плато, либо тем, что под исследованными участками земная кора имеет большую (относительно центра впадины) мощность и область регистрации этих волн оказалась за пределами достигнутой дальности. Последующие расчеты показали, что увеличение амплитуд регистрируемых колебаний на удалениях 40 - 46 км от ПВ (рис. 2) обусловлено наличием границы на глубине порядка 13,5 км, которая по данным профиля II является кровлей высокоскоростного слоя в основании коры, сформированного, возможно, мантийными породами [1].

Сейсмограммы, полученные в пределах восточного шельфа п-ова Корея (пр. III, IV) (рис. 3 - 5), существенно отличаются от тех, которые получены во впадине. Эти отличия заключаются в следующем.

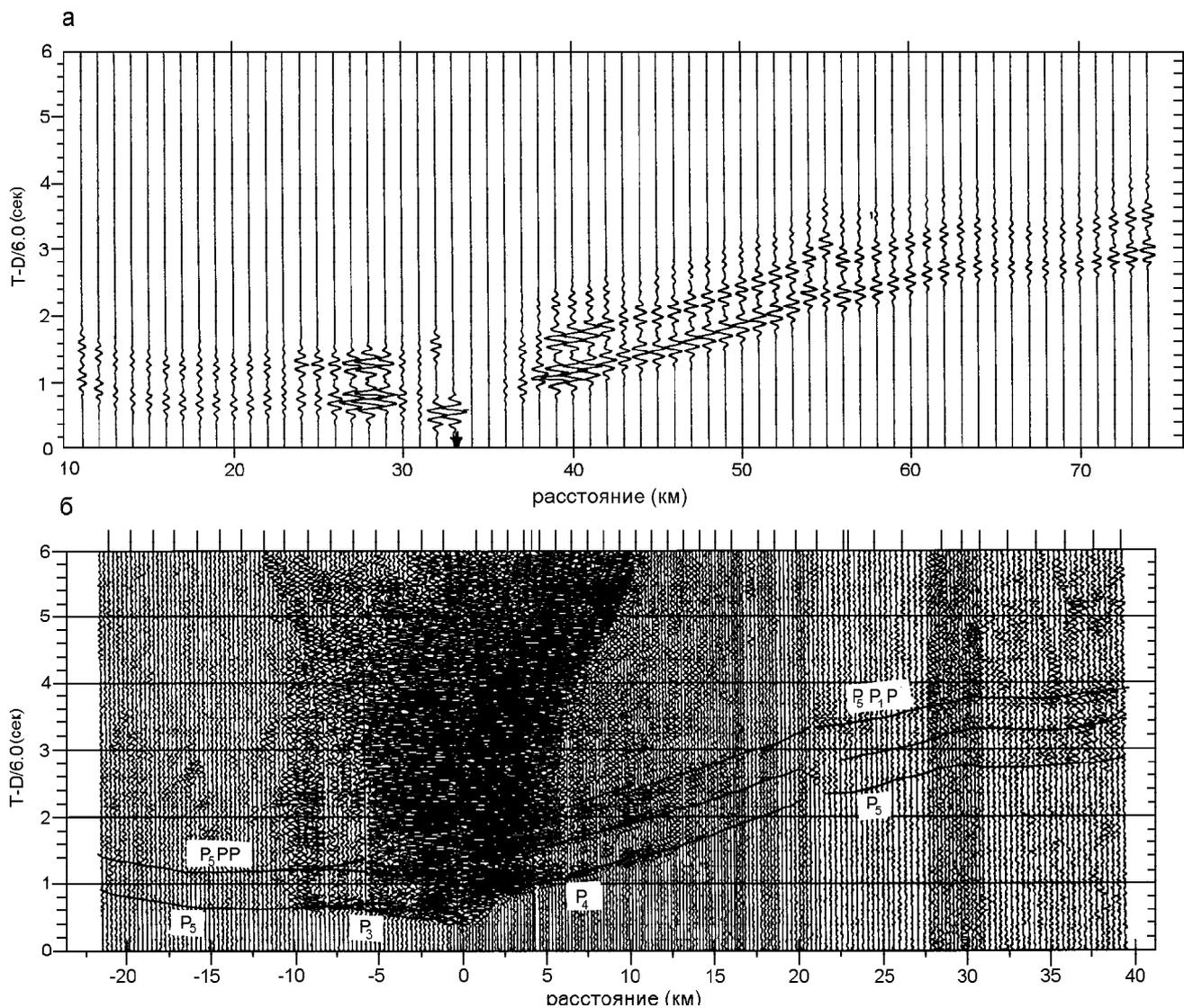


Рис. 3. Сейсмограммы, полученные расположенными на шельфе АДСС (а,б - пр. III, ст. 3; в,г - пр IV, ст. 8; а,в - синтетические, б,г - наблюдаемые).

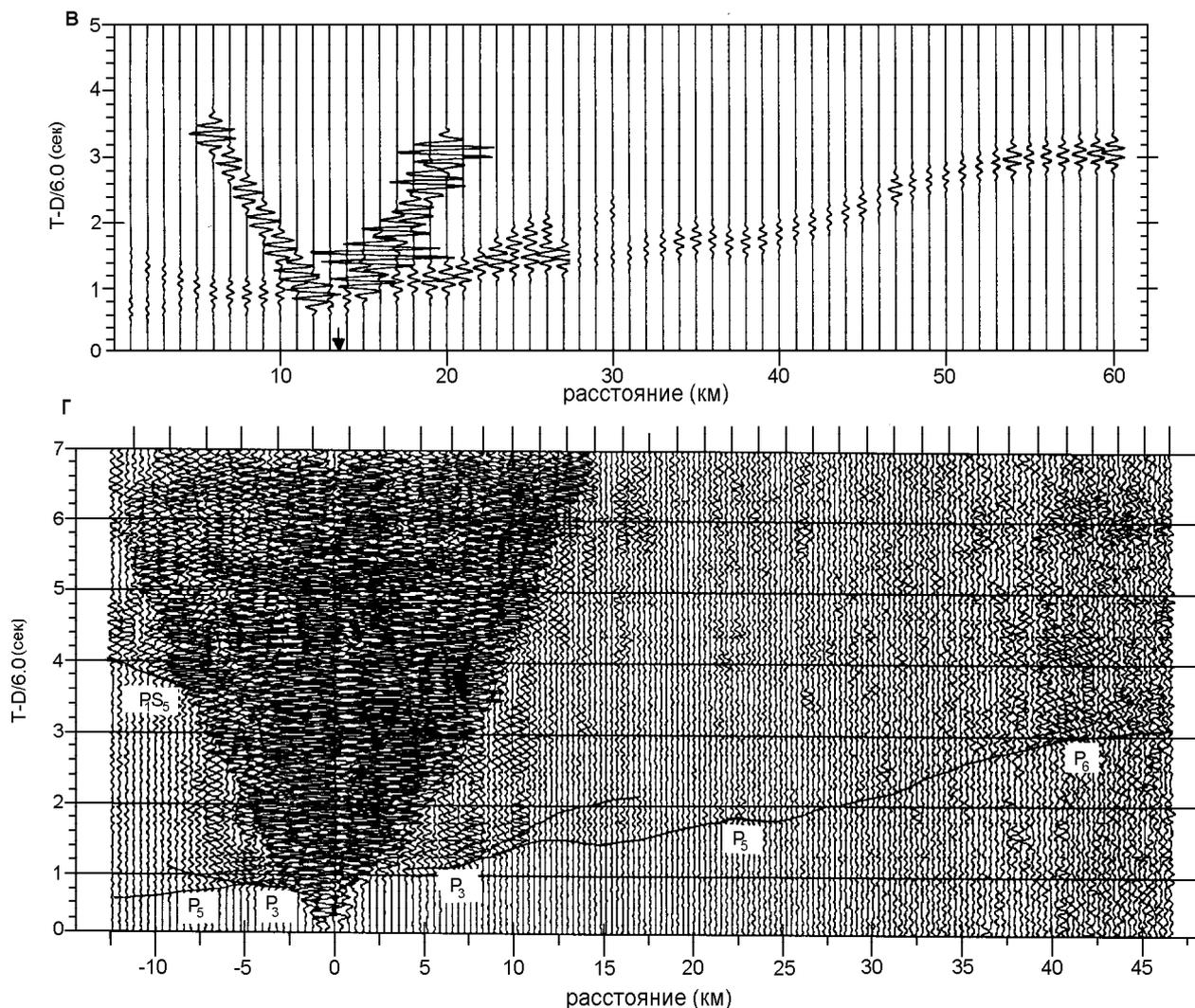
Таблица 2. Скоростные характеристики слоев.

№ слоев		1	2	3	4	5	6
Индексация волн		P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>	P <sub>5</sub>	P <sub>6</sub>
V <sub>p</sub> , км/с	шельф	1.7-1.95	3.4-3.5	3.6-4.5	4.6-5.1	5.3-6.4	6.0-6.1
	впадина	1.7-2.15	2.9-3.35	3.7-4.35	4.9-5.15	5.65-6.45	6.4-6.8
	о-в Уллындо	1.8-1.9	2.7-2.85	4.0-4.3	5.4-5.7	6.5-6.7	

1. Регулярные волны имеют резко изменчивую интенсивность вдоль профилей, часто наблюдаются зоны нарушенной корреляции волн, годографы имеют “ступенчатую” форму, что свидетельствует о латеральной неоднородности разреза и о сложной структуре сейсмических границ. Последние обстоятельства, по-видимому, являются главными причинами того, что дальность регистрации здесь редко превышает 30 км. При этом наиболее неоднородной является исследованная часть земной коры в

пределах профиля III - здесь максимальная дальность регистрации регулярных сейсмических волн составляет порядка 20 км (рис. 5).

2. Смены волн первых вступлений нечеткие, особенно для высокоскоростных волн. Однако на большинстве сейсмограмм преломленные волны после смены их в первых вступлениях последующими могут быть прокоррелированы и в область вторых вступлений, т.е. вертикальная расслоенность геологического разреза, по-видимому, существует.



Продолжение рис. 3.

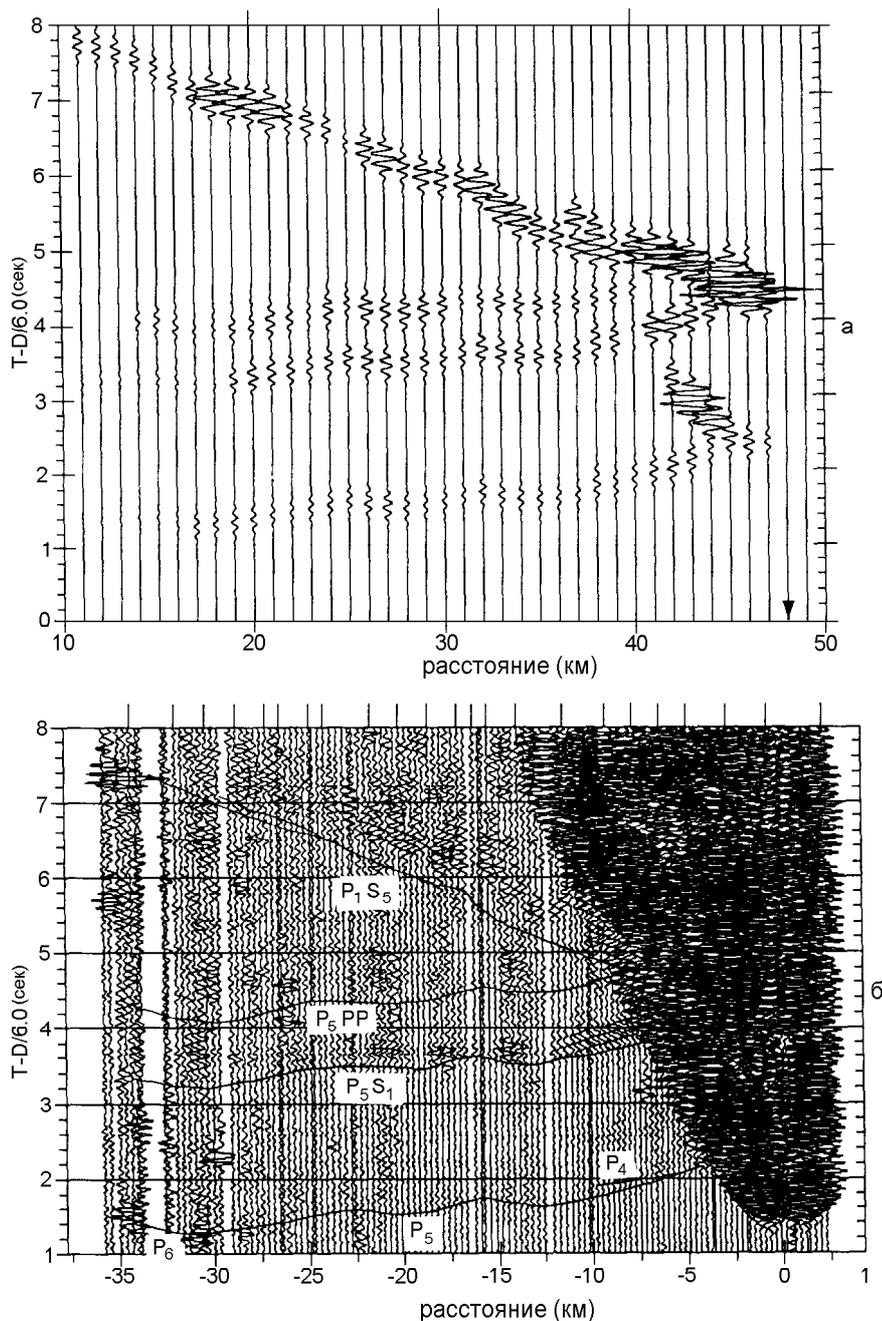


Рис. 4. Сейсмограмма, иллюстрирующая запись волн последующих вступлений (пр IV, ст. 17).

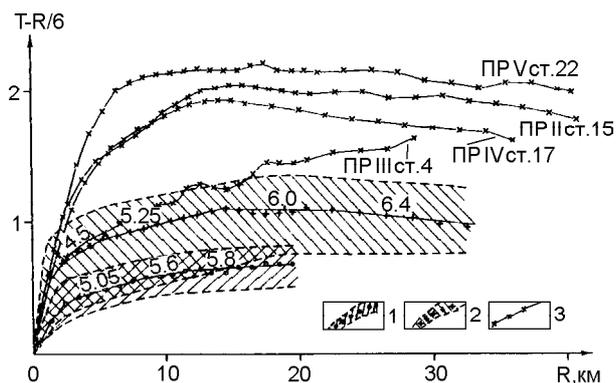
Условные обозначения - см. рис. 2.

3. Идентификация волн на разных станциях крайне затруднена, ее удастся осуществить только на этапе сейсмического моделирования. Как известно [13, 16], такие особенности волновых полей обуславливаются, с одной стороны, наличием в разрезе незначительных по мощности и простираию высокоскоростных линзовидных включений и, с другой - насыщенностью разреза субвертикальными телами (разломами, дайками и т.п.), которые могут выполаживаться на определенных глубинах [13, 16-18].

4. Область регистрации первых волн на шельфе (рис. 5) находится на существенно меньших временах, чем таковая в пределах впадины (времена

приведены к дну моря). Это связано, главным образом, с "выпадением" здесь из волнового поля низкоскоростных составляющих и, особенно, с меньшей мощностью самого верхнего неконсолированного слоя осадков ( $V < 2$  км/с).

Как во впадине, так и на шельфе в последующих вступлениях регистрируются интенсивные волны, которые можно разделить на две группы. Первая группа имеет те же кинематические и динамические характеристики, что и волны первых вступлений. Годографы этих волн параллельны между собой, характер изменения интенсивности с расстоянием аналогичен. Расчеты показывают, что времена



**Рис. 5.** Области регистрации и осредненные годографы преломленных волн.

Годографы, полученные на шельфовой части профилей III (1), IV (2) и во впадине (3). Цифры - значения кажущихся скоростей (осредненные).

их регистрации соответствуют продольным преломленным волнам: однократно отраженным от поверхности водного слоя вблизи постановки АДСС ( $P_nPP$ , рис. 3 и 4); то же, но с дополнительной кратностью в слое неконсолидированных осадков ( $P_nP_1P$ , рис. 3); распространяющихся в верхних слоях вблизи постановки АДСС как поперечные ( $P_nS_1$ ,  $P_nS_{1-2}$ , рис. 2 и 4). Указанные волны, как правило, имеют интенсивность, превосходящую интенсивность первых волн. Благодаря параллельности годографов последующих и первых вступлений стало возможным восстановление последних там, где они прослеживаются неуверенно.

К другой группе волн последующих вступлений относятся волны, которые большую часть пути распространяются как поперечные ( $P_1S_n$ ). Их кажущиеся скорости примерно в 1,6 - 2 раза меньше, чем у продольных волн, а интенсивность в некоторых случаях существенно превышает таковую последних (рис. 4). Расчеты показали, что рассматриваемые волны распространяются как продольные в водном слое и в неконсолидированных осадках, а на остальной части пути они распространяются как поперечные (обменные, типа SV-волны). Несоответствие расчетных и наблюдаемых амплитуд регистрируемых обменных волн возможно обусловлено в том числе и наличием азимутальной анизотропии разреза, которая не учитывается в расчетах [31].

Построение сейсмических разрезов производилось в той же стандартной [16] последовательности, что и при интерпретации сейсмических материалов 1991 года в Цусимской впадине [1].

Конструирование начального разреза выполнялось с учетом имеющихся данных [27, 37, 45]. В

дальнейшем этот разрез уточнялся при моделировании по пакету программ Seis 81 [26], объединяющему лучевое трассирование и построение синтетических сейсмограмм. Необходимые для расчетов программы были приспособлены для условий работы с донными станциями подобно программам Seis OBS [29]. При этом особое внимание уделялось качественному совпадению всего волнового поля, а не только первых волн. Этот трудоемкий процесс (практически для каждой отдельной трассы, зарегистрированной на шельфе) заканчивался, когда расхождение между экспериментальными и расчетными временами не превышало 0,02 с, а амплитудные характеристики волн становились качественно похожими.

Особые трудности были встречены при построении разреза вблизи острова Уллындо, так как здесь, во-первых, имелись только одиночные годографы, и, во-вторых, из-за высокого фона помех, обусловленного сильными придонными течениями, первые вступления коррелировались с большим трудом. Тем не менее, совместное рассмотрение данных по профилям I и II [1] и профилям V, IV и III (рис. 1) позволило составить начальную модель, а затем построить и окончательные варианты разрезов (рис. 6).

Скоростные характеристики слоев и соответствующая этим слоям индексация первых продольных волн приводятся в табл. 2.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

*Профиль III.* Неконсолидированные осадки ( $V < 2$  км/с) в пределах этого профиля имеют сложное строение (рис. 6). Так, в осадочном бассейне Пхохан эта толща имеет незначительную мощность и подстилается резко расчлененной кровлей акустического фундамента (3,6-4,5 км/с). Восточнее антиклинального поднятия, при переходе к Цусимской впадине, ее мощность плавно увеличивается.

Следующий слой максимальную мощность (около 1 км) имеет в бассейне Пхохан. При приближении к континентальному склону он практически выклинивается (по данным моделирования в окрестностях АДСС 4 его мощность  $< 100$  м). Скорости в слое изменяются в широких пределах (3,6-4,5 км/с), что связано, по-видимому, с соотношением в его разрезе осадочных и вулканогенных пород и степенью катагенеза отложений. Наибольшая скорость (4,5-4,6 км/с, 25-35 км профиля) наблюдается в высокоскоростном пласте, который представлен, по-видимому, либо чисто вулканогенными образованиями, либо может коррелироваться как пластовая интрузия.

Отложения третьего (сверху) слоя имеют скорости 4,6 - 5,1 км/с и прослеживаются от побережья через весь шельф во впадину. С учетом близости его скоростей таковым в верхнемеловых отложениях



близлежащей суши [37], можно предположить, что и здесь он, возможно, имеет аналогичный возраст, т.е. верхнемеловые отложения прослеживаются от побережья через шельф во впадину.

Кристаллический фундамент (кровля "гранитно-метаморфического" (?) слоя) в пределах рассматриваемого профиля залегает на глубинах (от дна моря) 1.6-4.0 км. Максимальные глубины зафиксированы в Цусимской впадине, а от западного ограничения поднятия (15-й км профиля) до континентального склона наблюдается выступ этого фундамента. Скорости волн в его отложениях изменяются в пределах 5.5-6.4 км/с с повышением значений (до 6.4 км/с) на 15-25 км профиля, что обусловлено, вероятно, увеличением здесь основности пород, слагающих фундамент (возможно их внедрением).

В шельфовой части профиля III наблюдается двухблоковая структура поднятия. Западный структурный блок (район АДСС 2) имеет относительно повышенные скорости в нижней толще осадочно-вулканогенного слоя ( $V=4.8-5.1$  км/с) и складчатом фундаменте, ограничиваясь с обеих сторон глубинными разломами. Во втором блоке (35-50-й км) глубинный разлом наблюдается только на его восточном борту, отделяя континентальный склон от впадины.

Сейсмический разрез вдоль *профиля IV*, за исключением только поперечных размеров антиклинального поднятия, имеет существенные отличия от профиля III. Эти отличия позволяют относить их к различным горст-антиклинальным системам, несмотря на то, что последние могут быть обрисованы единой изобатой. Бассейн Хупхо, ограниченный с востока разломной зоной, в отличие от бассейна Пхохан, имеет наибольшую глубину не в центре, а вблизи этой разломной зоны (16-18 км от береговой линии). Более глубокий горизонт осадочно-вулканогенного слоя (3,55 - 4,0 км/с) возможно также выклинивается вблизи побережья и залегает, скорее всего, на подстилающей толще с резким угловым несогласием, так как кровля последней, как и кровля самого слоя, срезает изолинии скоростей.

Геоморфологическое поднятие Хупхо, которое пересечено профилем IV, имеет свои особенности строения. Прежде всего, ниже верхней слабо консолидированной низкоскоростной (1,67 км/с) толщи осадков залегают, скорее всего, вулканические породы (изолинии скоростей субгоризонтальны), которые внедрены в осадки сводовой части поднятия. В первичном виде скорости, по-видимому, были близки таковым в том же слое осадочного бассейна Хупхо. Это интродуцирование возможно и обусловило повышенную его мощность относительно соседних блоков, хотя не исключено, что подобное соотношение мощностей является результатом имеющих

здесь место горизонтальных движений [45]. К западному ограничению восточного блока поднятия (разлом на 35-м км профиля) мощность слоя становится минимальной, т.е. наблюдается та же картина, что и на профиле III. Отличаются эти структуры тем, что в нижней части осадочного разреза залегают отложения с более высокими значениями скоростей (3.4 - 3.5 км/с). Восточнее разлома над поверхностью фундамента начинает прослеживаться слой, значения скоростей в котором (4.6 - 4.9 км/с) позволяют отнести его, по аналогии с профилем III, к верхнемеловым отложениям. Если это так, то продолжение в море разлома Янсан [45] является северо-восточным ограничением мелового бассейна Кенсан.

Ниже этой толщи в бассейне Хупхо залегает ассоциация пород ( $V=5.3-5.4$  км/с), которая возможно отождествляется с зоной разуплотнения верхней части кристаллического фундамента, тем более, что аналогичные значения скоростей в кристаллическом фундаменте наблюдаются на Корейском плато [1], в приповерхностной части близких по возрасту и степени метаморфизма породах Ханкайского массива [2]. Возможно также, что данный структурный этаж сформирован более молодыми, нежели на прилегающей суше, породами. Рассмотренная ассоциация пород наблюдается только в пределах бассейна Хупхо. Далее на восток, вплоть до ложа Цусимской впадины, скорости ниже поверхности фундамента практически неизменны (около 5.7 км/с), т.е. по составу он, по-видимому, однороден. В районе континентального склона фундамент наиболее приближен к дну моря (восточный блок антиклинального поднятия).

Несмотря на существенные отличия сейсмических разрезов, расстояние между разломными ограничениями поднятия вдоль профиля IV (пк 18 - 45), с точностью  $\pm 1,0$  км, сохраняется и на сечении профиля III (пк 20 - 50, рис. 6), и простираение этих разломных зон субпараллельно верхней кромке континентального склона. Такая геометрия, по-видимому, должна подчеркивать наложенный характер этих новейших структур.

Строение земной коры во *впадине Цусима* подобно тому, что было получено здесь ранее [1]. Наибольшая мощность осадочно-вулканогенного слоя (более 5,0 км) в пределах профиля V наблюдается в центральной части впадины (пк 40 - 50), с относительным ее увеличением в синклинальных прогибах вблизи о-ва Уллындо и континентального склона. По данным НСП и ОГТ в тех же районах увеличивается мощность как придонного сильностратифицированного слоя, так и всей осадочно-вулканогенной толщи. Этот синклинальный прогиб практически непрерывно окаймляет северо-западную окраину

впадины (рис.1, б) и, по-видимому, является следствием ее образования.

Ближе к центру впадины оси структур имеют северо-восточное простирание и, возможно, они трассируются и далее на юго-запад через шельф на полуостров [25]. Если это так, то современные границы континентального склона полуострова Корея являются наложенными и отвечают северному (субмеридиональному) продолжению разломной зоны Цусима-Гото [45].

Соотношения величин пластовых скоростей в слоях указывают на достаточную резкость сейсмических границ (тем самым - на их литостратиграфическую природу). Последнее подтверждается, в какой-то мере, данными МОВ-ОГТ [38]: преломляющие границы по глубине залегания хорошо соответствуют разделяющим различные стратиграфические комплексы отражающим границам (рис 6). Близки и значения скоростей распространения сейсмических волн в этих комплексах. Вблизи вулканических центров, как обращалось внимание [27], влияние магматических процессов вносит существенный вклад в изменение скоростных параметров слоев, что хорошо иллюстрируется северо-восточным окончанием профиля V (рис. 6).

#### **ПЕРСПЕКТИВЫ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ВОСТОЧНОГО ШЕЛЬФА ПОЛУОСТРОВА КОРЕЯ**

Непосредственно для восточного шельфа Кореи ранее было показано [37], что промышленные скопления углеводородов в пределах кайнозойских толщ бассейна Пхохан маловероятны. Тем не менее, интересные структуры были отмечены в подстилающем, более древнем слое, но по данным бурения на прилегающей суше наиболее древние третичные отложения имеют, вероятно, мощность не более 750 м даже в наиболее глубокой части осадочного бассейна Пхохан. На прилегающих к шельфу участках побережья имеются отрывочные данные по структуре отложений, подстилающих третичные осадки [32-34]. Эти данные позволяют охарактеризовать (схематично) верхнемеловые осадочно-вулканогенные отложения как метаморфизованные конгломераты и туфы, которые могут представлять определенный интерес с точки зрения их нефтегазоперспективности. Последнее обусловлено следующими соображениями.

По своему географическому и структурно-тектоническому положению Восточный шельф полуострова Корея входит в систему окраинных структур зоны перехода от Азиатского континента к Тихому океану, которые во многом сохранили основные особенности глубинного строения прилегающих участков суши [8, 24], входя в т.н. Западно-Тихоокеанский нефтегазовый пояс [21], относятся к тыловым промышленно-нефтегазоносным районам

Тихоокеанского кайнозойского тектонического кольца [20]. В то же время, этот шельф, как и сам полуостров, относится к краевым структурам Китайской мегаплатформы, в пределах которой развиты структуры необычной тектоно-магматической активизации, не имеющие аналогов в других районах мира [6]. Эти структуры еще с 50-х годов получили название “дива-структур” [23] или структур “ревивации”, а широко развитый в них гранитоидный магматизм относится к “внегеосинклиальному” типу [15].

Поэтому при анализе тектонических предпосылок нефтегазоносности восточного шельфа п-ва Корея, по-видимому, является оправданной корреляция его структур с приматериковым шельфом Восточно-Китайского моря, для которого нефтегазоносность связывается, в большей степени, с низами осадочно-вулканогенного слоя, включая верхние горизонты мелового разреза (трещиноватые коллекторы), нежели со стратиграфическими коллекторами в кайнозойских осадочных толщах [Гнибиденко Г.С., 1991, персональное сообщение]. Достижения японских нефтяников за последнее пятилетие также показывают высокую продуктивность не только глубокозалегающих среднемиоценовых вулканических коллекторов (т.н. “зеленых туфов”), но и новейшего (для Японии) типа нефтяных и газовых залежей в трещиноватых палеогеновых конгломератах и меловых гранитах [42, 43].

Таким образом, новейшие данные по коллекторским свойствам верхнемеловых осадочно-вулканогенных пород на шельфе Японии [42, 43] в совокупности с данными по приматериковому шельфу Китая, позволяют с новых позиций рассматривать и нефтегазовую перспективу восточного шельфа полуострова Корея. Нефтегазоперспективность последнего можно считать не такой уж маловероятной, и, более того, предположение о наличии коллекторов в верхнемеловых - третичных слоях ( $V = 3.9 - 4.1$  км/с) кажется достаточно обоснованным.

#### **ВЫВОДЫ**

В результате исследований МПВ, с учетом ранее проведенных сейсмических работ, установлено, что структура шельфа представляет собой систему грабен-синклиналей и горст-антиклиналей, ограниченных разломными зонами субмеридионального простирания. Эти структуры субпараллельны верхней кромке континентального склона и сформировались, по-видимому, в результате новейших тектонических движений.

Глубинные сейсмические разрезы имеют существенные различия и (в меридиональном направлении), что свидетельствует о существовании иной, отличной от современной, структурной обстановки.

Вполне возможно, что погребенные структуры суши могут быть прослежены через шельф во впадину в северо-восточном направлении.

Меловой бассейн Кенсан продолжается, вполне вероятно, и в Цусимскую впадину и представлял с ней в поздне меловое время единое целое.

Цоколь о-ва Уллындо имеет коническую форму с радиусом основания (на поверхности кристаллического фундамента) более 20-ти км.

В противовес ранее высказанной точке зрения [37], учитывая новые сейсмические данные и достижения нефтяников Китая и Японии, авторы считают, что нельзя категорично отвергать возможность перспективности на нефтегазоносность бассейнов Пхохан и Хупхо. Более того, по аналогии с приматериковым шельфом Китая и шельфом южного Хоккайдо, можно даже высказать мнение, что в этих бассейнах в третичных (?) и верхнемеловых (?) толщах возможно открытие стратиграфических и литологических ловушек с трещинными коллекторами, которые могут содержать углеводороды в промышленных объемах.

В связи с этим представляется необходимым проведение дополнительных исследований МПВ вдоль береговой линии через центральные части бассейнов и на поперечных наземно-морских профилях. Еще один меридиональный профиль МПВ необходимо проложить вдоль восточной границы Цусимской впадины (60-е километры профилей III и IV), полученные результаты по которому позволят более доказательно утверждать (или опровергать) взаимосвязь глубинных структур полуострова, шельфа и впадины.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Аносов Г.И., Сок Б.Ч., Аргентов В.В. и др. Глубинное строение земной коры впадины Цусима (Японское море) по данным преломленных волн // Тихоокеан. геология. 1996. № 5. С. 32-45.
- Аргентов В.В., Гнибиденко Г.С., Попов А.А., Потапьев С.В. Глубинное строение Приморья. М: Наука, 1976. 89 с.
- Аргентов В.В., Биккенина С.К., Жильцов Э.Г. и др. Результаты экспериментальных исследований методом преломленных волн на северо-восточном шельфе о.Сахалин: Препр. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 1992. 48 с.
- Геология Кореи. М: Мир, 1964. 264 с.
- Геологическая карта дна Японского моря / Берсенев И.И., Красный Л.И. (ред.). Л: ВСЕГЕИ, 1984. 95 с.
- Грачев А.Ф., Калашников И.В., Магницкий В.А. Новый взгляд на геодинамику Восточной Азии // Докл. АН. 1994. Т. 337, № 6. С. 804-806.
- Гречишников Г.А., Номоконов В.П., Шаров В.И. Особенности сейсмических волн, преломленных на криволинейных границах раздела // Геоакустика. М: Недра, 1966. С. 3-17.
- Дьяков Б.Ф. Геологические закономерности размещения и вопросы генезиса нефти и газа (в связи с оценкой нефтегазовых ресурсов окраин континентов) // Геология, эволюция и нефтегазоносность современных и древних зон сочленения континентов и океанов: Сб. науч. тр. Л: ВНИГРИ, 1988. С. 139-158.
- Епинатьева А.М. Физические основы сейсмических методов разведки. М: МГУ, 1970. 105 с.
- Зверев С.М. Сейсмические исследования на море. М: МГУ, 1964. 132 с.
- Зверев С.М., Капустян Н.К. Сейсмические исследования литосферы Тихого океана. М: Наука, 1980. 207 с.
- Конторович А.Э., Моделевский М.С., Трофимук А.А. Принципы классификации седиментационных бассейнов в связи с их нефтегазоносностью // Геология и геофизика 1979. № 2. С. 3-11.
- Луценко Б.Н. Интерпретация сейсмических волн в сложных средах. М: Недра, 1987. 120 с.
- Масайтис В.Л. Проявление магматизма на территории Кореи // Докл. АН СССР. 1961. Т. 140, № 5. С. 1166-1169.
- Масайтис В.Л. Очерк тектоники и истории геологического развития Корейского полуострова // Материалы по региональной геологии и металлогении Корейского полуострова и Монголии. Л: Наука, 1963. С. 5-32.
- Метод преломленных волн. М: Недра, 1990. 297 с.
- Николаевский В.Н. Волноводы земной коры // Природа. 1987. №7. С. 54-60.
- Номоконов В.П., Гречишников Г.А., Шаров В.И. и др. Изучение разломов в метаморфическо - интрузивном фундаменте методом отраженных волн // Изв. вузов. Сер. Геология и разведка. 1971. № 12. С. 121-128.
- Основные черты геологического строения дна Японского моря. М: Наука, 1978. 264 с.
- Пушаровский Ю.М. Проблемы тектоники и нефтегазоносности Тихоокеанского пояса // Геотектоника. 1965. № 1. С. 74-92.
- Севастьянов К.М. Нефть и газ в Западно - тихоокеанском нефтегазовом поясе // Сов. геология. 1969. № 11. С. 119-125.
- Сейсморазведка. Справочник геофизика. М: Недра, 1981. 464 с.
- Чэн Го - да. Активные районы Китайской платформы и проблемы Катазии // Дичжи сюебао. 1956. Т. 36, № 3. С. 239-272.
- Шило Н.А., Туезов И.К. Тектоника и геологическая природа Азиатско - Тихоокеанской зоны перехода // Тихоокеан. геология. 1985. № 3. С.3-15.
- Anosov G.I., Bong-Chool Suk, Soynov V.V. Geodynamic aspects related to evolution of the Ulleung basin in East Sea of Korea resulting from integrated geophysical data // Proceedings of the Third International Conference on Asia Marine Geology, Cheju, October 17 - 21, 1995. Korean Society of Oceanography, Korea. 1996. P. 247-273.
- Cerveni V., Psencik J. Program SEIS83: Numerical modelling of seismic wave fields in 2-D laterally varying layered structures by the ray method // Charl Univ. Pragma, 1983. 105 p.

27. Chough, S.K., Lee K.E. Multi-stage volcanism in Ulleung back-arc basin, East Sea (Sea of Japan) // *The Island Arc*. 1992. V. 1, N 1. P. 32-39.
28. *Geology of Korea* / Lee D.S. (ed). 1978. 515 p.
29. Hirata N., Shinjo. SEISOBS-modified version of SEIS83 for ocean bottom seismographic array // *J. Phys. Earth*. 1990. V. 38. P. 99-147.
30. Inoue E. Geological problems on Cretaceous and Tertiary rocks in and around Tsushima - Korea straits // *Un. Nations ESCAP, CCOP Technical Bull.* 1982. V. 15. P. 85-121.
31. Levin V., Park J. P-SH conversions in a flat-layered medium with arbitrary anisotropy // *Geophys. J. Intern.* 1997. V.129, N 3. P. 803-812.
32. Lew K.Y., Kim I.B., Lee O.J. Seismic survey report on Kyeonsang sedimentary basin (Jain area) // *Report of geophysical and geochemical exploration*. 1970. V. 4. P. 38-49.
33. Lew K.Y., Kim I.B., Lee O.J. Seismic survey report on Kyeonsang sedimentary basin (Koryeong area). // *Report of geophysical and geochemical exploration*. 1972. V. 6. P. 51 - 70.
34. Lew K.Y., Kim I.B., Lee O.J. Seismic survey report on Kyeonsang sedimentary basin (Donggodong area) // *Report of geophysical and mineral exploration*. 1973. V. 1. P. 3-12.
35. Park K.S. Geologic and seismic stratigraphy of the southern part of Ulleung basin. // *Sedimentary basin in the Korean Peninsula and adjacent seas*. Special Publication of the KSRG / (ed. Chough S.K.). 1992. P. 40 - 59.
36. Park K.P., Shin W.C., Kim C.S. et al. Marine Geology and Mineral Resources of East Sea, Korea (Gangheung - Pohang) // *J. Geol. Soc. Korea*. 1981. N 10. P. 149-161.
37. Schluter H.U., Chun W.C. Seismic surveys off the coast of Korea // *Un. National ESCAP, CCOP Technical Bull.* 1974. V. 8. P. 1-14.
38. *Sedimentary Basins in the Korea Peninsula and adjacent seas* // Special Publication of the Korea Sedimentology Research Group (KSRG) / Ed. by Chough S.K. 1992. 215 p.
39. Shimazu M., Yoon S., Tateishi M. Tectonics and volcanism in the Sado - Pohang Belt from 20 to 14 Ma and opening of the Yamato Basin of Japan Sea // *Tectonophysics*. 1990. V. 183, N 1/4. P. 321-330.
40. Suk B.C., Anosov G.I., Bikkenina S.K. et al. A oceanographic study in the East Sea, Korea and Russia cooperative research, KORDI BSP N 00213 625-5. 1993. 280 p.
41. Sylvester A.G. Strike-slip faults // *Geol. Soc. Amer. Bull.* 1988. V. 100. P. 1666-1703.
42. Yaguchi I., Tono S., Arato H. The oil geology and current development related to oil and gas exploration in Japan // *Proc. of Cooperative Russia-Japan Symposium*. October, 1994 (Yuzhno-Sakhalinsk). P. 9-17.
43. Yamasaki T., Tanaka S. Development oil technology in Japan // *Proceeding of Cooperative Russia-Japan Symposium*. October, 1994 (Yuzhno-Sakhalinsk). P. 1-8.
44. Yoon S.H. Geologic Events of the Tertiary Yangnam and Pohang Basins, Korea with a remark on the origin of the Yamato basin of the Japan Sea // *Saito Ho-on Kai. Spec. Bull.* 1991. N 3. P. 303-309.
45. Yoon S.H., Chough S.K. Tectonic History of Eastern Continental Margin, Korea // *Sedimentary Basins in the Korean Peninsula and adjacent seas*. Special issue of KSRG / (ed. Chough ). 1992. P. 22-39.

Поступила в редакцию 13 августа 1998 г.

Рекомендована к печати Р.Г. Кулиничем

**G. I. Anosov, B. Ch. Suk, V. V. Argentov, S.K. Bikkenina, V. V. Zhigulev, K. F. Sergeev**

### **Structure of eastern shelf of the Korean Peninsula by seismic data**

The paper presents results of seismic refraction survey carried out on the eastern shelf of the Korean Peninsula in spring, 1993, within the frames of the joint Russian-South Korean projects on study of deep structure of the Tsushima depression in the Japan Sea. Observations have been carried out by research vessel "Morskoi Geofizik" using self-contained bottom seismometers and pneumatic radiator (the working camera capacity of 30 dm<sup>3</sup>).

The data obtained and the available seismic reflection data allow to determine the upper crust structure and to study interrelation between the shelf structures and the Tsushima depression.

On the basis of a set of available seismic and geological data the question is stated on reestimation of possible oil-and-gas perspectives in the eastern shelf of the Korean Peninsula and the additional geophysical investigations are recommended aimed at verifying such perspectives.