

КРАТКИЕ И ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 550.834

**ПЯТЬДЕСЯТ ЛЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗАКРИТИЧЕСКИХ ОТРАЖЕНИЙ
ПРИ ИЗУЧЕНИИ ГРАНИЦЫ МОХОРОВИЧИЧА**

Н.Н. Пузырев

Институт геофизики СО РАН, 630090, Новосибирск, просп. Коптюга, 3, Россия

Статья написана к 50-летней дате применения при глубинном сейсмическом зондировании (ГСЗ) особого типа отраженных волн, получивших название закритических. Опыт показал, что эти волны повсеместно регистрируются от границы Мохо при расстояниях от источника 60—200 км. Форма импульсов не остается стабильной, но корреляция по первым экстремумам достаточно устойчива. Обсуждается возможность использования закритических отражений в сейсморазведке.

Сейсморазведка, отраженные волны, закритические отражения.

**THE USE OF WIDE-ANGLE REFLECTIONS IN MOHO IMAGING:
FIFTY YEARS OF EXPERIENCE**

N.N. Puzyrev

The paper is a sketch of the fifty years long experience in using wide-angle (postcritical) reflections in DSS. Wide-angle reflections from the Moho are commonly recorded at offsets from 60 to 200 km. Their waveform is variable, but correlation against first arrivals is quite stable. Wide-angle reflections are well applicable in seismic exploration.

Seismic exploration, reflections, wide-angle (postcritical) reflections

При изучении осадочных образований сейсмическим методом, а в последнее время всей толщи земной коры, широко используется метод отраженных волн в варианте докритических отражений (МОВ), т. е. при малых углах падения волны на границу раздела. Чаще всего углы падения изменяются от 0° до 10°. В этом случае обеспечивается высокая разрешающая способность и устойчивость формы записи вследствие плавного изменения комплексных спектров отраженных волн. Существенным недостатком стандартного варианта МОВ следует считать нередко сильно выраженную зависимость качества отражения от уровня помех различной природы.

В послевоенные годы широкое применение получил метод глубинного сейсмического зондирования земной коры (ГСЗ). При своем возникновении метод ГСЗ рассматривался как глубинный вариант корреляционного метода преломленных волн (КМПВ). Исходя из этого предполагалось, что все волны, начиная с первых вступлений при больших удалениях от источника, следует относить к типу головных.

Закритические отраженные волны впервые были обнаружены при изучении Мохо на расстояниях источник—приемник приблизительно 70—200 км при работах на континентах в различных районах. В настоящее время при изучении подошвы земной коры эти волны играют подчас очень важную роль в части исследования формы границы и вычисления скоростей в земной коре. Скорости в верхней части коры находятся по данным преломленных волн, которые регистрируются приблизительно на тех же расстояниях источник—приемник, что и закритические отражения.

Факт обнаружения на сейсмограммах закритических отраженных волн от границы Мохо обсуждался летом 1954 г. (50 лет тому назад) на семинаре Института физики Земли (в то время Геофизический институт АН СССР — ГЕОФИАН) под председательством академика Г.А. Гамбурцева. Конкретно обсуждалась структура сейсмограмм, представленных на семинаре узбекскими геофизиками под руководством Б.Б. Тальвирского. Геофизики Узбекистана заявили, что на расстояниях, приблизительно таких же, при которых регистрируются преломленные волны, фиксируются интенсивные импульсы относительно небольшой протяженности по времени с амплитудой, как правило, значительно превышающей амплитуды головных волн. Я присутствовал на этом семинаре и запомнил, что авторы эксперимента затруднялись высказать какие-либо суждения о природе указанных импульсов. На семинаре, где присутствовали представители различных направлений, в том числе теоретики, рассматривались две гипотезы

Типичные формы импульсов закритических отражений для трех районов в редуцированном масштабе времен:

I — Байкальская рифтовая зона; II — Южный Урал; III — восток Сибирской платформы (Якутия). *PmP* — отраженные волны; *Pg* — первые вступления преломленных волн; *Pn* — преломленная волна от Мохо.

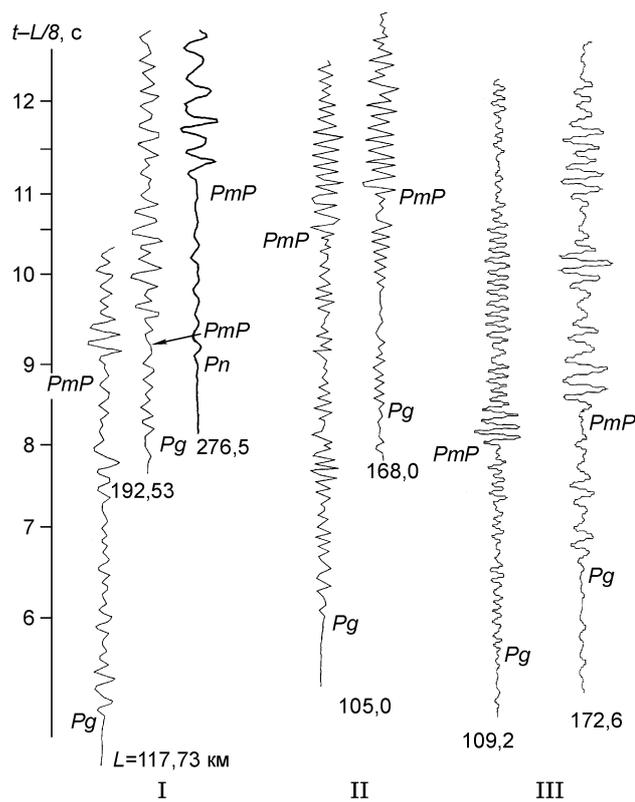
относительно природы аномальных волн. В частности, некоторые специалисты предполагали, что это могли быть рефрагированные волны, если в низах коры присутствует градиентный слой. Большинство же присутствующих на семинаре, в том числе и председатель, сразу же заняли достаточно твердую позицию, что аномальные волны относятся к закритическим или близкритическим отражениям, когда коэффициенты отражения близки к единице. Мнение председателя активно поддерживали ленинградские теоретики из группы Г.И. Петрашеня. Такую гипотезу приняли все присутствующие на семинаре, и эта позиция стала главенствующей в дальнейших исследованиях земной коры в различных районах. В настоящее время закритические отраженные волны регистрируются одновременно с преломленными в ГСЗ, что дает возможность обеспечить полноту исследований во всех континентальных областях при различном геологическом строении, в том числе со сложной тектоникой, например, в Байкальской рифтовой зоне.

Уже в 50-х гг. пришли к выводу, что закритические отражения меняют свою форму, в том числе на одних и тех же интервалах источник—приемник, что можно видеть на рисунке. Здесь представлены примеры трасс с записью отраженной волны от Мохо в близкритической и закритической областях из разных регионов. Они показывают изменение формы записи как по расстоянию источник—приемник L , так и от района к району. В Байкальской рифтовой зоне [1] при $L = 117,7$ км отражение представлено интенсивным трехфазным импульсом. От того же пункта взрыва на расстоянии 192,5 км форма импульса значительно изменилась при уменьшении относительной интенсивности первых фаз по сравнению с последующими. Она может быть охарактеризована тремя 1-, 2-фазными коротко разделенными по времени импульсами, занимающими на сейсмограмме интервал длительностью около 1,5 с. Последняя на рисунке сейсмограмма по Байкалу соответствует значению $L = 276,46$ км. Форма записи здесь существенно отличается от тех, которые отмечаются на меньших расстояниях — после большого экстремума фиксируется только одно разрастание амплитуд.

На Южном Урале при $L = 105$ км отражения регистрируются в виде интенсивных многофазных колебаний длительностью до 1,5 с, плавно затухающих со временем [2]. На этом же годографе при удалении 168 км от источника характер записи изменяется мало, нарушается лишь регулярность наиболее поздних фаз колебаний. На востоке Сибирской платформы отражения от Мохо также характеризуются стабильностью формы колебаний, но значительно отличаются от того, что наблюдается в Байкальской рифтовой зоне и на Урале. Интенсивные 4-, 5-фазные колебания длительностью около 0,5—0,6 с сохраняются стабильными при различных расстояниях источник—приемник $L = 109,2$ и 172,6 км, хотя и с некоторым понижением частоты [3].

Были сделаны различные предположения о причинах неустойчивости формы записи закритических отражений. Так, например, в работе [4] показано, что кинематический характер отражений указывает на то, что некоторые из импульсов образуются на резкой границе Мохо, тогда как другие представляют собой интерференцию рефрагированных волн перед границей. Вполне вероятно, что некоторые импульсы могут образоваться за счет градиентности среды в верхней мантии. Следует отметить, что в области закритических отражений амплитудные и фазовые характеристики волн отличаются значительной сложностью, однако „длинные хвосты“ на многих импульсах вряд ли можно связать с особенностями амплитудно-фазовых характеристик.

Существенно отметить, что практически все закритические отраженные волны относятся к положительным сейсмическим границам, когда скорости выше границы меньше, чем в нижней среде. Для отрицательных границ амплитудные характеристики менее благоприятны для образования рассматри-



ваемых волн, но экспериментальные данные по ним отсутствуют. Приведенные на рисунке импульсы, как указывалось выше, относятся к континентальным областям. При решении обратных задач, в первую очередь кинематических, всегда отсчитываются времена первого экстремума, что дает возможность исключить различие в формах импульсов.

Значительные исследования были проведены также на акваториях морей и океанов [5, 6]. Здесь отмечаются некоторые особенности в формировании закритических отражений, состоящие в том, что отчетливые импульсы, подобные континентальным, регистрируются в боковых областях океанических впадин. С уменьшением мощности коры амплитуда их уменьшается, а в центральных частях океанических впадин, где мощность коры снижается до 3—5 км, они полностью отсутствуют [5].

Как уже отмечалось в [7], важно обратить внимание на возможность регистрации закритических отражений от границ в осадочном чехле и поверхности кристаллического фундамента. В первую очередь следует провести исследования в районах, где имеются границы со значительным перепадом скоростей. Регистрацию колебаний следует проводить непосредственно возле пункта взрыва, так как при изучении осадочных отложений параллельно могут регистрироваться как докритические, так и закритические отражения, если интервалы расстояний источник—приемник достаточно велики. На больших удалениях параллельно будут регистрироваться как преломленные, так и закритические отраженные волны. Таким образом, при изучении осадочных отложений на разных расстояниях могут быть зарегистрированы три типа волн: преломленные, докритические и закритические отраженные. Возможность регистрации закритических отражений от границ в осадочной толще была показана в [8]. В программе исследований должен быть предусмотрен учет геологической обстановки в различных регионах. Естественно, что натурные наблюдения должны координироваться с математическим моделированием.

Выше имелась в виду регистрация всех типов волн как продольных. На последующих этапах исследования могут быть подключены также поперечные и обменные волны различной лучевой структуры и поляризационных особенностей. На начальном этапе все исследования должны проводиться в достаточно простых условиях.

Автор выражает благодарность профессору В.Д. Суворову за помощь в подборе графических приложений к статье и за участие в обсуждении содержания статьи.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Мишенькин Б.П., Мишенькина З.Р., Петрик Г.В. и др.** Изучение земной коры и верхней мантии в Байкальской рифтовой зоне методом глубинных сейсмических зондирований // *Физика Земли*, 1999, № 7—8, с. 74—94.
2. **Кашубин С.Н., Кашубина Т.В., Карбонель Р. и др.** Обработка и интерпретация материалов ГСЗ по профилю Уралсейс // *Глубинное строение и геодинамика Южного Урала (профиль Уралсейс)*. Тверь, Изд-во ГЕРС, 2001, с. 114—119.
3. **Суворов В.Д.** Глубинные сейсмические исследования в Якутской кимберлитовой провинции. Новосибирск, Наука, 1993, с. 138.
4. **Мишенькина З.Р., Мишенькин Б.П.** Изучение зоны перехода от земной коры к мантии на северо-востоке Байкальской рифтовой зоны по данным рефрагированных и отраженных волн // *Физика Земли*, 2004, № 5, с. 47—57.
5. **Зверев С.М.** ГСЗ на океанах за 30 лет экспедиций: методика и волновые поля // *Физика Земли*, 1999, № 7—8, с. 143—163.
6. **Непрочнов Ю.П.** Сейсмические исследования в океане. М., Наука, 1976, 176 с.
7. **Пузырев Н.Н.** Об использовании преломленных волн при изучении нефтегазовых объектов // *Геология и геофизика*, 2004, т. 45, с. 1355—1358.
8. **Метод преломленных волн.** М., Недра, 1990, 297 с.

*Рекомендована к печати 20 июля 2005 г.
С.В. Гольдиным*

*Поступила в редакцию
3 марта 2005 г.*