

## **ОСОБЕННОСТИ МЕТОДИКИ ДИНАМИЧЕСКОГО ПЕРЕСЧЕТА ГОЛОВНЫХ ВОЛН НА ОПОРНОМ ГЕОФИЗИЧЕСКОМ ПРОФИЛЕ 3-ДВ**

### *Павел Олегович Полянский*

Алтае-Саянский филиал Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба» РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, научный сотрудник, тел. (913)894-51-39, e-mail: PPavel6.10@gmail.com

### *Александр Федорович Еманов*

Алтае-Саянский филиал Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба» РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, доктор технических наук, директор филиала, тел. (383)333-27-08, e-mail: emanov@gs.nsc.ru

### *Александр Сергеевич Сальников*

АО «Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья», 630091, Россия, г. Новосибирск, Красный пр., 67, доктор геолого-минералогических наук, зав. отделом сейсморазведки, тел. (383)222-62-13, e-mail: assalnikov@mail.ru

В работе оценено влияние кривизны опорных профилей и рельефа местности на результаты динамического пересчета головных волн, зарегистрированных по системе наблюдения сверхглубинного ОГТ. Доказано, что криволинейность и рельеф действуют на результат пересчета как низкочастотные фильтры. Для условий Центрального участка опорного профиля 3-ДВ показано, что влияние кривизны и рельефа на динамический пересчет данных ОГТ – уменьшение амплитуд частотных компонент сигналов головных волн не превышает 2–10 % в полосе частот 13–25 Гц. Предложена геологическая интерпретация временного разреза головных волн по верхней части земной коры в пределах Нижнеалданской впадины.

**Ключевые слова:** опорный геофизический профиль 3-ДВ, головные волны, временной разрез, цифровая обработка сейсмических данных.

## **METHODOLOGICAL FEATURES OF HEAD WAVES DYNAMIC CONVERSION ON REFERENCE GEOPHYSICAL PROFILE 3-DV**

### *Pavel O. Polyansky*

Altay-Sayan branch of Federal Research Center «United Geophysical Survey» RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 3 Koptuyug Prospect, Research Scientist, tel. (913)894-51-39, e-mail: PPavel6.10@gmail.com

### *Alexander F. Emanov*

Altay-Sayan branch of Federal Research Center «United Geophysical Survey» RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 3 Koptuyug Prospect, D. Sc., Branch Director, tel. (383)333-27-08, e-mail: emanov@gs.nsc.ru

### *Alexandr S. Salnikov*

«Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources» JSC, 630091, Russia, Novosibirsk, Krasny Prospect 67, D. Sc., Head of department of exploration seismology, tel. (383)222-62-13, e-mail: assalnikov@mail.ru

Influence of reference profiles curvature and of ground relief of profiles to results of dynamic conversion of head waves are estimated in the article. Head waves data are registered on observation systems of CDP. It is proved that curvature and relief are have an effect on the conversion result like low-frequency filters. The conditions in the Central part of the 3-DV profile are shown to have slight influence on the dynamic conversion of the CDP data: decrease in head wave amplitudes of frequency components is in range 2-13% in the frequency range from 13 to 25 Hz. Geologic interpretation of head waves time sections of the upper crust on the Nizhnealdanskaya deep is suggested.

**Key words:** reference geophysical profile 3-DV, head waves, time section, digital processing of seismic data.

## Введение

Метод динамического пересчета, обоснованный в [4] и развитый в [3], позволяет производить цифровую обработку данных головных волн, зарегистрированных по плотным системам наблюдений, и получать информацию о свойствах преломляющих границ в земной коре. В работах [1, 5] алгоритм с успехом применялся для обработки данных сверхглубинного ОГТ на опорном профиле 3-ДВ, длина которого более 3000 км. Линия профиля 3-ДВ характеризуется определенной кривизной в плоскости  $(X, Y)$  и неоднородностью рельефа дневной поверхности по высоте  $H(X)$ , вопрос влияния этих факторов на точность обработки данных сверхглубинного ОГТ методом динамического пересчета головных волн рассмотрен в первой части статьи. Вторая часть статьи посвящена результатам динамического пересчета головных волн на Центральном участке профиля 3-ДВ.

### Влияние кривизны и рельефа линии профиля на динамический пересчет головных волн

В статье В.Н. Сергеева [7] показано, что при пересчете волнового поля головных волн из точки  $(i, j+1)$  в точку  $(i+1, j+1)$  обобщенной плоскости наблюдений по множеству трасс, входящих в область прослеживания целевой волны, в случае непараллельности нагоняющих годографов спектр сигнала-результата пересчета необходимо дополнительно умножить на амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) фильтра, учитывающего показатель непараллельности нагоняющих годографов  $(\theta_a)$ :

$$S_{i+1}^{j+1}(\omega) = F_i^{j+1}(\omega) \cdot \sum_{a=1}^n \exp(I \cdot \omega \cdot \theta_a), \quad (1)$$

где  $F_i^{j+1}(\omega)$  – спектр трассы в точке  $(i, j+1)$  после динамического пересчета, при параллельных нагоняющих годографов, а  $S_{i+1}^{j+1}(\omega)$  – спектр трассы в точке  $(i+1, j+1)$ , с учетом непараллельности нагоняющих годографов. Такой фильтр является разновидностью фильтра низких частот. Вместе с тем очевидно, что непараллельность нагоняющих годографов может быть обусловлена не только

рефракцией, но и кривизной профиля и неоднородностью рельефа дневной поверхности.

Оценим влияние кривизны профиля на динамический пересчет головных волн: представим линию профиля  $Y(X)$  в параметрическом виде (2):

$$Y(X) = A \cdot \sin(B \cdot X) \Rightarrow Y'(X) = A \cdot B \cdot \cos(B \cdot X), \quad (2)$$

где  $X, Y$  – географические координаты источников и сейсмоприемников,  $A, B$  – параметры, определяющие кривизну линии профиля. Любой участок Центрального участка профиля 3-ДВ можно представить в виде суперпозиции линий (2), характеризующихся разными значениями параметров  $A$  и  $B$ . Чтобы определить влияние кривизны линии профиля на динамический пересчет головных волн вне зависимости от параметров преломляющей границы, предположим, что граница горизонтальная и поэтому  $t_0$  не зависит от  $X$  и  $Y$ . В этом случае годограф головной волны  $t(X, Y(X))$  описывается выражением:

$$t(X, Y(X)) = t_0 + \frac{1}{V_{gr}} \cdot (\sqrt{X^2 + (A \cdot \sin(B \cdot X))^2}). \quad (3)$$

Здесь и далее  $\Delta X, \Delta Y$  – это расстояние между соседними пунктами возбуждения по осям абсцисс и ординат в декартовой системе координат.

Показатель непараллельности нагоняющих годографов ( $\theta_1$ ), обусловленный различными факторами и используемый в (1), есть производная функции разности нагоняющих годографов [6]. Поэтому  $\theta_1$  – показатель непараллельности нагоняющих годографов головных волн, обусловленный криволинейным профилем, определяется так:

$$\begin{aligned} \theta_1 &= \frac{d(\Delta t(X, Y(X)))}{dX} = \\ &= \frac{1}{V_{gr}} \cdot \left[ \frac{X - \Delta X + 2 \cdot Y(X) \cdot Y'(X) - 2 \cdot \Delta Y \cdot Y'(X)}{\sqrt{(X - \Delta X)^2 + (Y(X) - \Delta Y)^2}} - \frac{X + 2 \cdot Y(X) \cdot Y'(X)}{\sqrt{X^2 + (Y(X))^2}} \right]. \end{aligned} \quad (4)$$

Теперь рассмотрим влияние рельефа дневной поверхности на непараллельность нагоняющих годографов головных волн: каждый источник и сейсмоприемник характеризуются высотой  $H(X1)$  над уровнем моря. Здесь и далее  $X1$  – это расстояние по профилю.

Предположим, что латеральная зависимость  $H(X1)$  имеет вид, аналогичный (2), с параметрами рельефа  $C$  и  $D$ , тогда годограф головной волны будет выглядеть так:

$$t(X1, H(X1)) \approx t_0 + \frac{X1}{V_{gr}} + \frac{H(X1)}{V_0}. \quad (5)$$

В этом случае показатель непараллельности нагоняющих годографов головных волн определяется следующей формулой:

$$\theta_2 = \frac{d(\Delta t(X1, H(X1)))}{dX1} = \frac{2 \cdot C \cdot D}{V0} \cdot [\cos(D \cdot (X1 + L)) - \cos(D \cdot X1)], \quad (6)$$

где  $L$  – расстояние между соседними пунктами возбуждения,  $V0$  – скорость волны в самой верхней части разреза,  $C$  и  $D$  – параметры, определяющие форму рельефа местности. В системе наблюдения, используемой в сверхглубинном ОГТ на опорных профилях, расстояние между источниками составляет 100 м, между сейсмоприемниками – 50 м. Длины годографов, от которых зависят значения  $n$  в (1), в среднем для регистрируемых головных волн составляют 5 км. На рис. 1, а показана линия профиля  $Y(X)$ , а на рис. 1, б – линия рельефа дневной поверхности  $H(X)$  профиля.

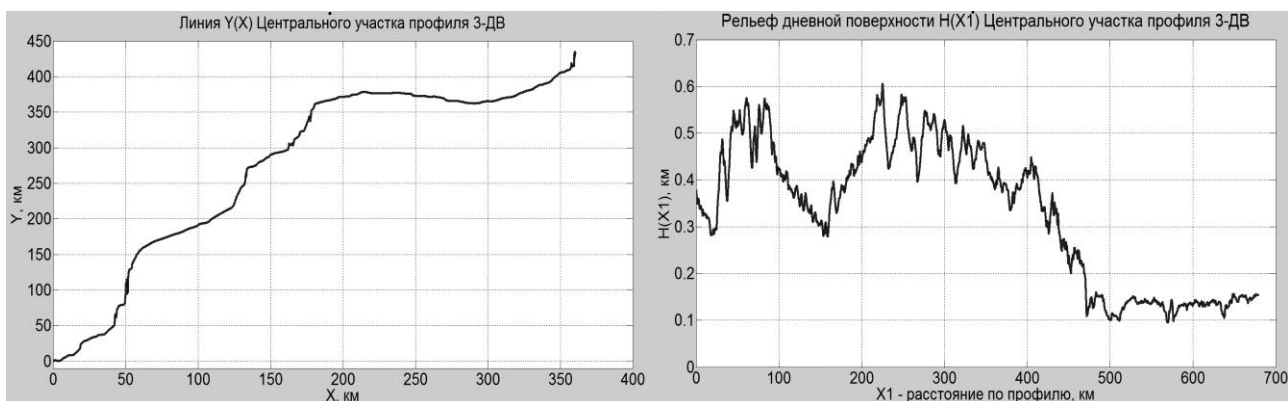


Рис. 1. Центральный участок профиля 3-ДВ:

а) линия профиля в плоскости  $(X, Y)$ ; б) линия рельефа  $H(X1)$  дневной поверхности профиля

Частотный диапазон преломленных волн составляет в среднем по профилю 13–25 Гц. Для оценки влияния кривизны и рельефа Центрального участка профиля 3-ДВ вычислим модули АЧХ фильтров (рис. 2) согласно (1), (4), (6), задав разные значения параметров  $A$  и  $B$ , которые характерны для района исследований: 10 км и 100 км, 1 км и 5 км, 50 м и 100 м (модули АЧХ показаны кривыми 1, 2, 3 на рис. 1, а соответственно). Характерные значения параметров  $C$  и  $D$  таковы: 250 м и 200 км, 100 м и 20 км, 20 м и 10 км (модули АЧХ показаны кривыми 1, 2, 3 соответственно на рис. 2, б).

Влияние кривизны профиля на динамический пересчет выражается в виде низкочастотной фильтрации – происходит понижение амплитуд головных волн на результирующих временных разрезах. Для значений параметров  $A, B$ , встречающихся на Центральном участке, понижение амплитуд в целевом диапазоне частот не превышает 2–10 % для данных ОГТ, что не критично. В то же время неоднородность высот форм рельефа Центрального участка вовсе не влияет на

динамический пересчет и не приводит к уменьшению амплитуд сигналов – модули АЧХ фильтров во всем диапазоне частот принимают значения 1 (рис. 2, б). Однако при геоморфологических условиях, не характерных для профиля 3-ДВ, но теоретически возможных (сильная кривизна линий профиля –  $A/B > 2$  и/или углы наклона форм рельефа, превышающие  $30^\circ$ ), низкочастотная фильтрация, обусловленная кривизной профиля и неоднородностью рельефа, приведет к существенному уменьшению амплитуд головных волн на результирующих временных разрезах, вплоть до 80–100 % в целевом частотном диапазоне.

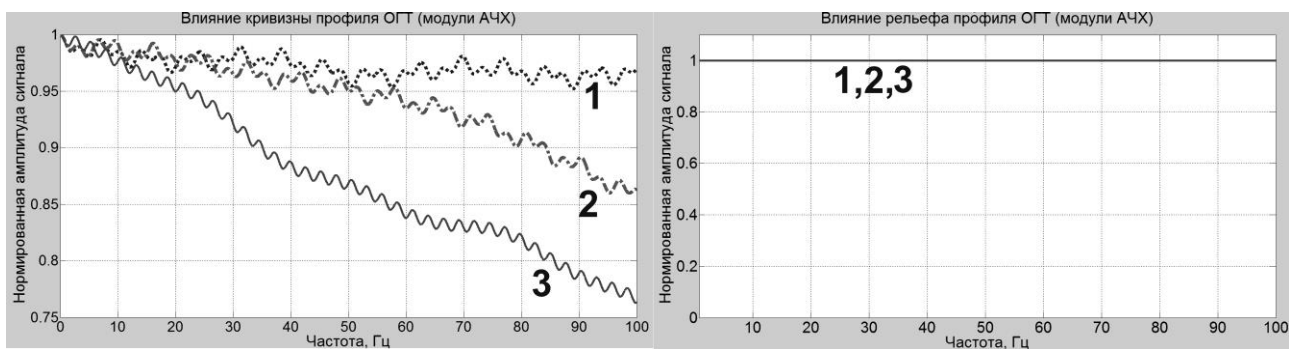


Рис. 2. Модули АЧХ фильтров, обусловленных влиянием кривизны (а) и рельефа дневной поверхности (б) Центрального участка профиля на результат динамического пересчета данных сверхглубинного ОГТ

Теперь рассмотрим результаты динамического пересчета головных волн на профиле 3-ДВ. На рис. 3, а изображен фрагмент временного разреза Центрального участка профиля 3-ДВ.

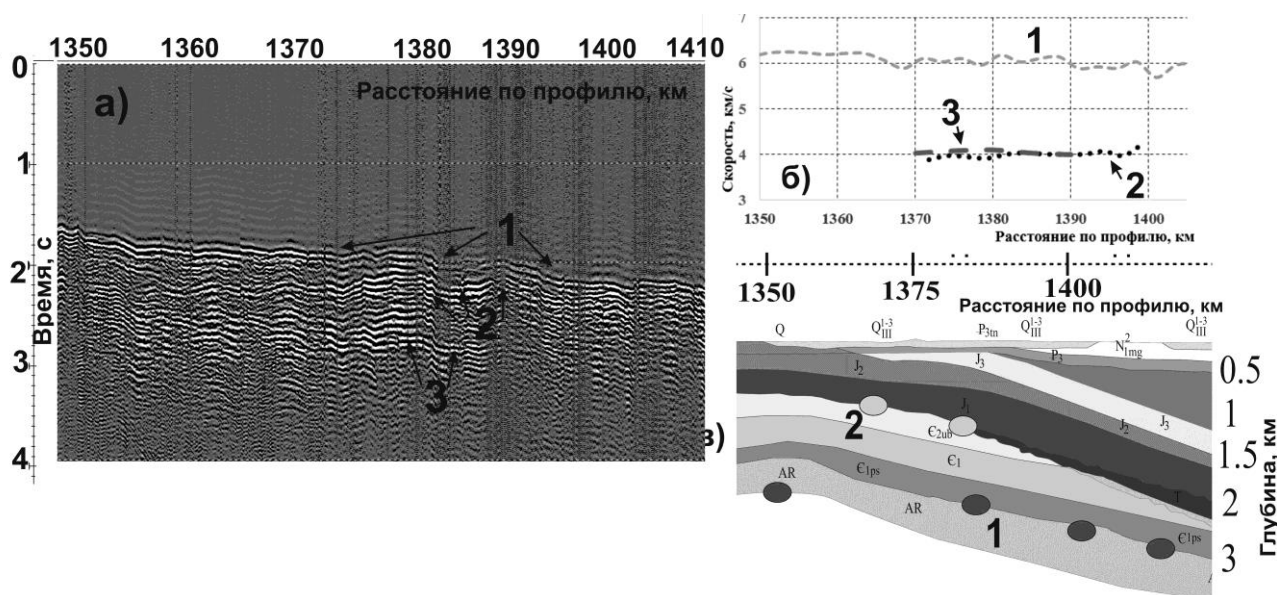


Рис. 3. Центральный участок профиля 3-ДВ:

а) фрагмент временного разреза ( $L = \text{const} = 7$  км); б) граничные скорости головных и кратной отраженно-преломленной волны; в) фрагмент геологического разреза

Волны первых вступлений (на временном разрезе оси этих волн синфазности показаны стрелками 1) характеризуются граничными скоростями 5.9–6.1 км/с (рис. 3, б), а волны последующих вступлений (с осями синфазности, показанными стрелками 2 и 3) – граничными скоростями 4–4.2 км/с. Значения скоростей волн первых вступлений типичны для магматических пород, а значения скоростей продольных волн последующих вступлений типичны для осадочных горных пород [2]. Так как граничные скорости волн с осями синфазности, показанными 2 и 3, очень близки, то, вероятно, эти волны соответствуют одной и той же преломляющей границе, причем волна с осью синфазности 3 является кратной отраженно-головной. Несмотря на то что на временном разрезе на базе 7 км эти волны прослеживаются в последующих вступлениях, они соответствуют менее глубокозалегающей границе (ее глубина залегания изменяется по профилю от 1.2 до 1.4 км), чем волна первых вступлений. Эта преломляющая граница расположена в осадочном чехле и разделяет осадочные толщи кембрийского и юрского возраста (значения глубины показаны светлыми кружками (2) на рис. 3, в). Граница, которой соответствует преломленная волна первых вступлений, залегает на глубинах, увеличивающихся по профилю от 2.3 до 2.9 км, и представляет собой кровлю кристаллического фундамента (значения глубины показаны темными кружками (1) на рис. 3, в). Таким образом, для Нижнеалданской впадины – переходной зоны от Вилуйской синеклизы к Предверхолянскому краевому прогибу – характерно увеличение глубины залегания фундамента и возрастание мощности осадочного чехла соответственно.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Временные разрезы головных волн верхней части земной коры на опорном профиле 3-ДВ (Северо-восточный участок) / П.О. Полянский, А.С. Сальников, А.Ф. Еманов, В.В. Жабин // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2016. – № 2. – С. 86–95.
2. Дортман Н.Б. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых (петрофизика). Справочник геофизика. 2-е изд. – М.: Недра, 1984. – 455 с.
3. Еманов А.Ф., Селезнев В.С., Коршик Н.А. Динамический пересчет головных волн при обработке данных сейсморазведки // Геология и геофизика. – 2008. – Т. 49, № 10. – С. 1031–1045.
4. Крылов С.В., Сергеев В.Н. Свойства головных волн и новые возможности автоматизации их обработки // Геология и геофизика. – 1985. – № 4. – С. 92–102.
5. Полянский П. О., Сальников А. С., Еманов А. Ф. Применение метода динамического пересчета головных волн на Центральном участке профиля 3-ДВ (республика Якутия) для изучения преломляющих границ верхней части земной коры // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016. XII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Геоэкология» : сб. материалов в 4 т. (Новосибирск, 18–22 апреля 2016 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2016. Т. 1. – С. 210–215.
6. Пузырев Н.Н. Об интерпретации данных метода преломленных волн при наличии градиента скорости в нижней среде // Геология и геофизика. – 1960. – № 10. – С. 120–128.
7. Сергеев В.Н. Учет геометрического расхождения и рефракции при пересчете поля колебаний преломленных волн // Геология и геофизика. – 1988. – № 3. – С. 93–102.

© П. О. Полянский, А. Ф. Еманов, А. С. Сальников, 2017