

## **СЕЙСМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ ЗЕМНОЙ КОРЫ В СТВЕРЕ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО УЧАСТКА ПРОФИЛЯ 3-ДВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ ПРЕЛОМЛЕННЫХ ВОЛН**

*Павел Олегович Полянский*

Алтае-Саянский филиал Федерального Исследовательского Центра “Единая Геофизическая служба” РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга 3, научный сотрудник; тел. +7-913-894-5139, e-mail: PPavel6.10@gmail.com

*Александр Федорович Еманов*

Алтае-Саянский филиал Федерального Исследовательского Центра “Единая Геофизическая служба” РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга 3, доктор технических наук, директор филиала; тел. (383)333-27-08, e-mail: emanov@gs.nsc.ru

*Александр Сергеевич Сальников*

Акционерное Общество “Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья”, 630091, Новосибирск, Красный пр., 67, доктор геолого-минералогических наук, заведующий отделом сейсморазведки, тел.: +7(383)-222-62-13, e-mail: assalnikov@mail.ru

Сделана цифровая обработка преломленных волн по Северо-Восточному участку профиля 3-ДВ методом динамического пересчета. Построены временные разрезы и скоростная модель, отображающая структуру преломляющих границ в верхней части земной коры. Доказано, что в Аян-Юряхском блоке в интервале глубин 0-1.5 км преломляющие горизонты являются границами в осадочном чехле, а в зоне Иньяли-Дебинского блока преломляющая граница на глубине ~1.0 км не является литологической. По пониженным значениям  $V_P/V_S$  (1.66-1.70) в Иньяли-Дебинском блоке и в пределах Оротукано-Балыгычанского поднятия на глубинах ниже 1.0 км зафиксированы слои, перспективные на месторождения рудных полезных ископаемых.

**Ключевые слова:** Цифровая обработка преломленных волн, опорный геофизический профиль 3-ДВ, временной разрез, верхняя часть земной коры, скоростная модель

## **SEISMIC MODEL OF THE UPPER EARTH'S CRUST ON NORTH-EAST PART OF TRAVERSE 3-DV BASED ON RESULTS OF HEAD WAVES DIGITAL PROCESSING**

*Pavel O. Polyansky*

Altay-Sayan branch of Federal Research Center “United Geophysical Survey” RAS, 3, Akademika Koptuyuga Ave., Novosibirsk, 630090, Russia, Researcher, tel. +7-913-894-5139, e-mail: PPavel6.10@gmail.com;

*Alexander F. Emanov*

Altay-Sayan branch of Federal Research Center “United Geophysical Survey” RAS, 3, Akademika Koptuyuga Ave., Novosibirsk, 630090, Russia, DSc, 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, Krasny Prospect 67, Novosibirsk 630091, Russia, Dr. Sci. (Geology and Mineralogy), Head of department of exploration seismology, tel.: +7 (383)-222-62-13, e-mail: assalnikov@mail.ru.

Digital processing of refracted waves data, which are registered on North-East part of profile 3-DV, is done. Time sections and velocity model are formed. It is proved, that refraction horizons on depth interval of 0-1.5 km are geologic boundaries in sedimentary cover on Ayan-Yuryakh tectonic block. Refraction boundary on depth of ~1.0 km is not lithologic border on Inyaly-Debin block. Layers, which are potentially productive for ore mineral resources, are subtracted by low values of  $V_p/V_s$  (1.66-1.70) on depth below 1.0 km, on Inyaly-Debin block and Orotukan-Balygychan elevation.

**Keywords:** Digital processing of head waves, reference geophysical traverse 3-DV, time section, upper Earth's crust, velocity model

### *Введение*

Для определения скоростного строения земной коры на опорном профиле 3-ДВ используются сейсмические методы ГСЗ, КМПВ и МОВ-ОГТ, основанные на регистрации отраженных и преломленных сейсмических волн. Наибольшая детальность исследований - по данным отраженных волн ОГТ. Но в этих данных, помимо отраженных, присутствуют и записи преломленных волн, которые дают уникальную возможность определить сейсмическую структуру верхней части земной коры (до глубин ~ 3 км). При этом, на опорных профилях, ручная обработка преломленных волн, зарегистрированных системой ОГТ, невозможна из-за очень высокой кратности по опорным волнам (~100 и выше) и большой протяженности участков (до 1000 км). Метод динамического пересчета головных волн [2, 5] используется в автоматической цифровой обработке таких данных и дает возможность построения временных разрезов и динамических годографов преломленных волн. Представленное исследование является продолжением работы [6] и посвящено изучению свойств преломляющих границ в верхней части земной коры в створе Северо-Восточного участка опорного профиля 3-ДВ [1, 8, 10] с использованием не только продольных, но и поперечных головных волн.

### *Цифровая обработка данных преломленных волн*

Метод динамического пересчета [2] позволяет выделить сигналы волн, нагоняющие годографы которых параллельны, и подавить случайные помехи и сигналы волн, нагоняющие годографы которых не параллельны. Для получения временных разрезов и перехода к скоростным моделям реализован граф автоматизированной обработки данных, включающий следующие этапы:

1. Контроль изменения областей прослеживания головных волн на профиле. Процедура осуществляется по системе нагоняющих динамических годографов, получаемых пересчетом в  $i=\text{const}$ , ( $i$  - номер источника). Затем по профилю выполняется автоматическая проверка условий неизменности области прослеживания опорной волны сравнением ее кажущейся скорости на трёх базах между

центром области прослеживания и верхней границей и между центром и нижней границей области прослеживания. При близких значениях скоростей вдоль профиля, мы имеем дело с одной и той же волной в первых вступлениях, а при возникновении устойчивых различий область прослеживания проверяется по динамическим годографам в диалоговом режиме [3]. На рис.1а и рис. 1б показаны результаты разделения областей прослеживания волн в интервале профиля 2100-2270 км (Аян-Юряхский тектонический блок). На рис.1в – сейсмограмма, с областями прослеживания преломленных волн в зоне Иньяли-Дебинского блока (2270-2400 км). На рис.1г – волновое поле в области Среднеканского блока (2400-2550 км). Области прослеживания продольных преломленных волн ( $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$ ) на рис.1 показаны цветными линиями. Значения кажущейся скорости каждой волны указаны на рис. 1 надписями такого же цвета, как и линия, отображающая область прослеживания этой волны.

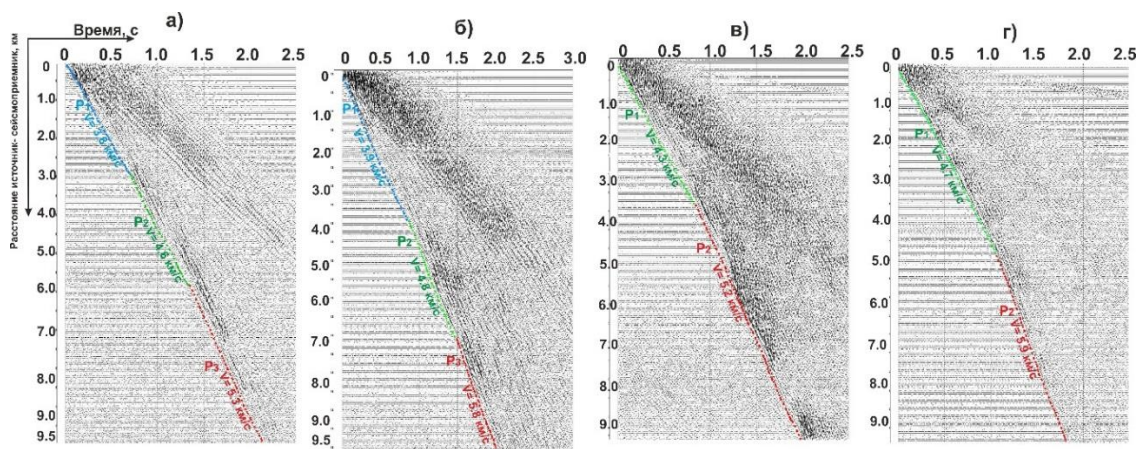


Рис. 1. Примеры разделения областей прослеживания преломленных волн на Северо-Восточном участке профиля 3-ДВ.

2. Определив области прослеживания, появляется возможность строить временные разрезы, осуществляя динамический пересчет поля целевой волны. На рис. 2 представлен временной разрез по всей длине Северо-Восточного участка профиля 3-ДВ. В первых вступлениях временного разреза выделены продольные преломленные волны, а в последующих фиксируются поперечные преломленные волны.

По двум временным разрезам, построенным на разных базах в области прослеживания одних и тех же волн, оценены значения граничной скорости продольных и поперечных преломленных волн в пределах тектонических структур, пересекаемых Северо-Восточным участком. Графики значений граничной скорости показаны на рис. 3.

3. Контроль рефракции волн на Северо-Восточном участке профиля. Влияние рефракции на сигналы преломленных волн при динамическом пересчете эквивалентно низкочастотной фильтрации: низкие частоты скользят вдоль

преломляющей границы, а высокие частоты проникают вниз в соответствии с градиентом скорости в подстилающей толще [3]. Чем выше коэффициент рефракции тем заметнее эффект низкочастотной фильтрации [7]. Оценено латеральное изменение частотного спектра сигналов, выделенных в результате динамического пересчета преломленных волн: на рис. 4 красными линиями выделены значения “верхней” и “нижней” частоты спектров трасс временного разреза, а черными линиями показаны значения “верхней” и “нижней” частоты спектров исходных сейсмических трасс, которые характеризуются теми же значениями расстояний источник-сейсмоприемник, что и трассы временного разреза. Границы спектров определялись по доле 0.75 от максимальной амплитуды спектра, [7].

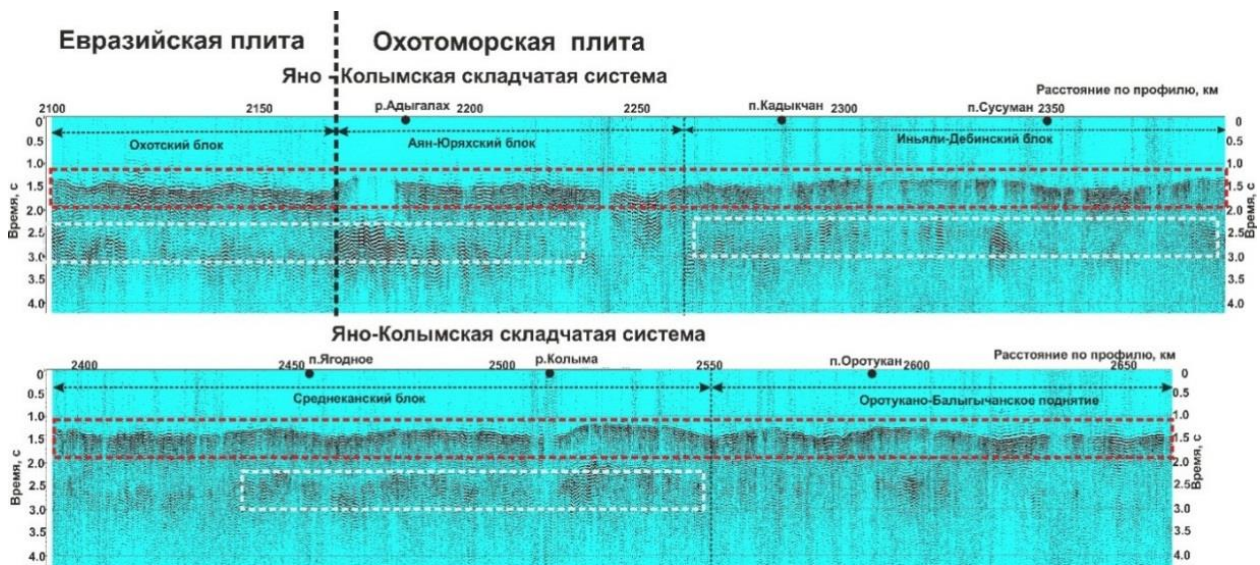


Рис. 2. Временной разрез по Северо-Восточному участку профиля 3-ДВ (база пересчета  $L_p = 7$  км)

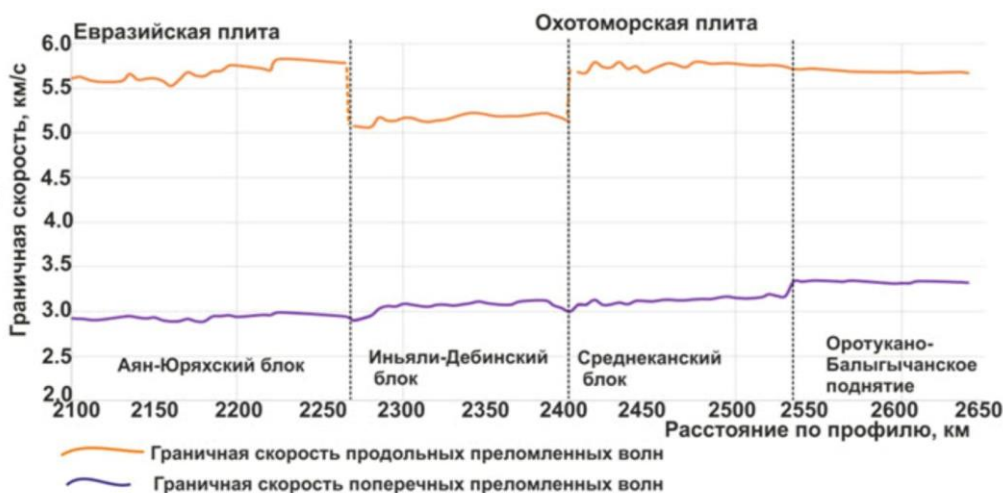


Рис. 3. Изменение граничной скорости продольных и поперечных преломленных волн на Северо-Восточном участке профиля 3-ДВ



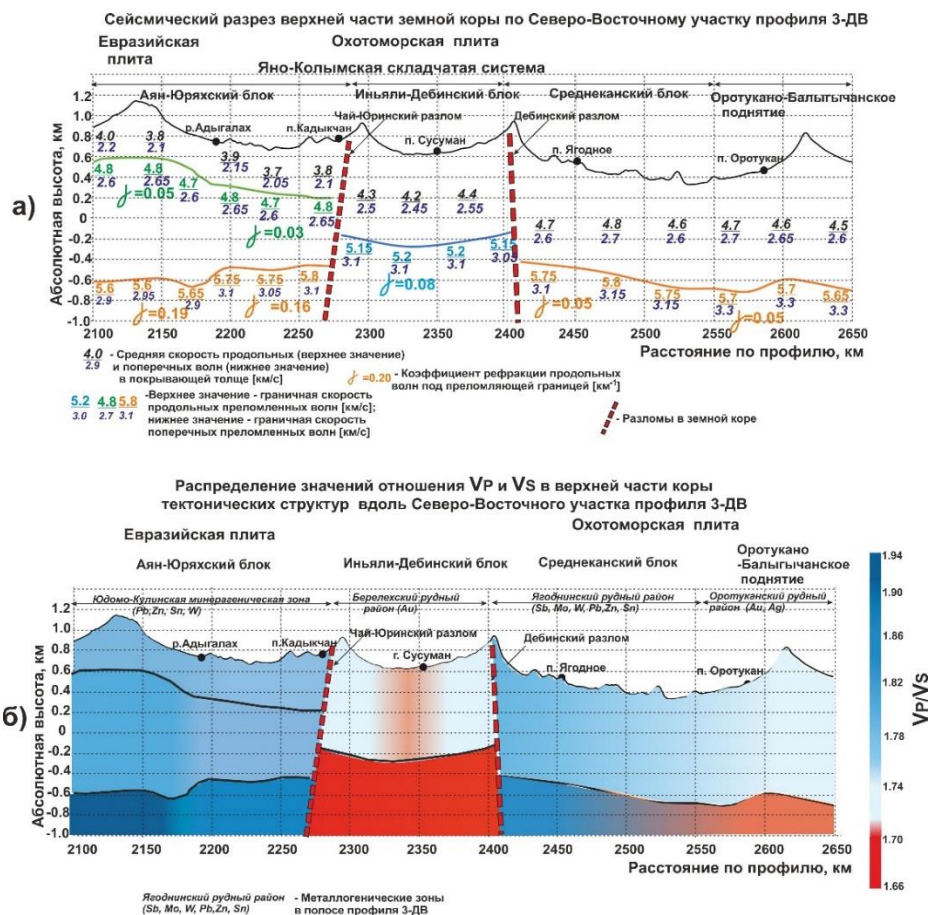


Рис. 5. Скоростное строение верхней части земной коры по Северо-Восточному участку профиля 3-ДВ:

а) модель в значениях скорости P- и S- волн. б) модель верхней части коры в значениях  $V_P/V_S$ .

Сейсмическое строение Аян-Юряхского блока (2100-2270 км) в интервале -1.0÷1.0 км представлено двумя сейсмическими горизонтами с подстилающим их полупространством. Верхний горизонт, между отметками 0.8-0.2 км характеризуется скоростью продольных волн ~3.8-4.0 км/с и скоростью поперечных волн 2.05-2.2 км/с. Отношение скоростей продольных и поперечных волн ( $V_P/V_S$ ) составляет 1.80-1.82. В промежуточном слое, скорость продольных волн составляет 4.6-4.8 км/с, также выявлен незначительный ее рост с глубиной – коэффициент рефракции составляет 0.03-0.05 км<sup>-1</sup>. При этом, граничная скорость поперечных преломленных волн – 2.6-2.65 км/с. Соответственно, значения  $V_P/V_S$  изменяются в диапазоне 1.81-1.84. Вторая преломляющая граница, залегающая между отметками ~-0.5÷(~-0.6 км), характеризуется достаточно высокой граничной скоростью продольных волн – 5.6-5.8 км/с, а граничная скорость поперечных волн изменяется от 2.9 км/с до 3.1 км/с. Следует также отметить наличие значительной рефракции продольных волн (0.16-0.19 км<sup>-1</sup>) под этой преломляющей границей. При этом здесь фиксируются самые высокие в этом блоке значения  $V_P/V_S$ , составляющие 1.88-1.93. Такие значения отношения  $V_P/V_S$  (от 1.8 и выше)

характерны для осадочных пород [4]. Также и по геологическим данным [1] – Аян-Юрхский блок представляет собой осадочный чехол, сложенный породами пермского и триасового возрастов общей мощностью свыше 5 км. Вычисленные значения скорости продольных волн в двух верхних слоях характерны для широкого спектра осадочных пород. Поэтому, вероятно, первая преломляющая граница является литологическим разделом в осадочном бассейне. Вторая преломляющая граница характеризуется значениями скоростей наиболее плотных осадочных пород, таких как конгломерат, известняк, доломит или брекчия. При этом, сильная рефракция может свидетельствовать о неоднородном составе этой толщи.

В интервале между отметками 2270 км и 2410 км, Северо-Восточный участок профиля пересекает Иньяли-Дебинский тектонический блок, ограниченный с юго-запада Чай-Юринским разломом [10], а с востока – Дебинским разломом (см. рис.5). Верхняя часть земной коры представлена двумя толщами, граница между которыми расположена на абсолютной отметке глубин  $\sim -0.2$  км. Скорость продольных волн в верхнем слое – 4.2-4.4 км/с, а в нижнем – 5.2-5.3 км/с, при этом присутствует небольшая рефракция продольных волн в подстилающей толще ( $\sim 0.08$  км<sup>-1</sup>). Скорость поперечных преломленных волн в верхней толще, составляет  $\sim 2.5$  км/с. Граничная скорость S-волн составляет  $\sim 3.1$  км/с. По геологическим данным, верхняя часть коры Иньяли-Дебинского блока характеризуется сложным строением – трещиноватыми, смятыми в складки осадочными породами, и большим количеством интрузий гранитоидов [1, 10]. Соответственно, границы раздела пород разного состава и возраста предположительно имеют сложный рельеф. Фиксируемая на глубинном разрезе преломляющая граница плавной формы залегает несогласно со складками, поэтому, не является ни литологической, ни стратиграфической. При этом, в покрывающей толще зафиксированы пониженные значения  $V_P/V_S$ , изменяющиеся от 1.71 до 1.73, а подстилающая толща характеризуется еще более низкими значениями отношения скоростей (1.66-1.68). Полученные столь низкие значения подтверждают геологические предположения. При этом, вычисленные значения отношения скоростей также могут быть связаны с присутствием в верхней части коры золоторудных месторождений, [1, 10].

В верхней коре зон Среднеканского блока и Оротукано-Балыгычанского поднятия (интервал профиля 2400-2650 км) зафиксирована одна преломляющая граница, на отметках  $-0.4 \div -0.7$  км. Скорость продольных волн в покрывающей толще изменяется от 4.5 до 4.7 км/с, а граничные скорости составляют 5.7-5.8 км/с для продольных преломленных волн, и 3.1-3.3 км/с для поперечных преломленных волн. Скорость P-волн убывает по латерали в направлении Оротукано-Балыгычанского блока, а скорость S-волн – возрастает. Значения  $V_P/V_S$  в покрывающей толще изменяются от 1.77-1.80 в Среднеканском блоке до 1.73-1.74 в пределах Оротукано-Балыгычанского поднятия. В толще под преломляющей границей величина  $V_P/V_S$  принимает значения 1.82-1.85 и 1.71-1.72, соответственно.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Горячев Н.А. Геология мезозойских золото-кварцевых жильных поясов Северо-Востока Азии / Горячев Н.А. // Магадан: СВКНИИ ДВО РАН. – 1998. 210 с.
2. 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.
3. Еманов А.Ф. Сейсмическая модель верхней части земной коры Юго-Восточной границы Сибирской платформы / Еманов А.Ф., Полянский П.О., Сальников А.С. // Физика Земли. – 2021. – №3. – С.130-146.
4. Кашубин С.Н. Особенности волновых полей продольных и поперечных волн при глубинных сейсмических исследованиях на акваториях / Кашубин С.Н., Сакулина Т.С., Павленкова Н.И., Лукашин Ю.П. // Технологии сейсморазведки. – 2011. - №4. – С. 88-102.
5. Крылов С.В., Сергеев В.Н. Свойства головных волн и новые возможности автоматизации их обработки // Геология и геофизика. – 1985. – № 4. – С. 92-102.
6. Полянский П.О., Сальников А.С., Еманов А.Ф., Жабин В.В. Временные разрезы головных волн верхней части земной коры на опорном профиле 3-ДВ (Северо-восточный участок) // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2016. – №2. – С.86-95.
7. Полянский П.О., Еманов А.Ф., Сальников А.С. Динамический пересчет головных волн на Центральном участке опорного профиля 3-ДВ: особенности методики и интерпретация временных разрезов // Геофизические исследования. – 2018. – т. 19. – №2. – С. 5-33.
8. Соловьев В.М., Селезнев В.С., Сальников А.С., Шibaев С.В., Тимофеев В.Ю., Лисейкин А.В., Шенмайер А.Е. Особенности сейсмического строения области сочленения Евразийской и Охотоморской плит на Востоке России (в створе опорного профиля 3-ДВ) // Геология и геофизика. – 2016. – Т.57. – №11. – С.2044-2058.
9. Старобинец А.Е., Старобинец М.Е. Цифровая обработка и интерпретация данных метода преломленных волн. – М.: Недра, 1983. – 207 с.
10. Чехов А.Д. Глубинные разломы Иньяли-Дебинского синклинория и некоторые особенности размещения магматических образований и оруденения / Чехов А.Д. // Новые данные по геологии Северо-Востока СССР. Магадан: СВКНИИ ДВНЦ АН СССР, 1976. – С. 34-48.

## REFERENCES

1. Gorjachev N.A. Geologija mezozojskih zoloto-kvarcevyh zhil'nyh pojasev Severo-Vostoka Azii / Gorjachev N.A. // Magadan: SVKNII DVO RAN. – 1998. 210 s.
2. Emanov A. F., Celeznev V.C, Kopshik N.A. Dinamicheskij pereschet golovnyh voln pri obrabotke dannyh sejsmorazvedki // Geologija i geofizika. – 2008. – Т. 49, № 10. – S. 1031-1045.
3. Emanov A.F. Sejsmicheskaja model' verhnej chasti zemnoj kory Jugo-Vostochnoj granicy Sibirskoj platformy / Emanov A.F., Poljanskij P.O., Sal'nikov A.S. // Fizika Zemli. – 2021. – №3. – S.130-146.
4. Kashubin S.N. Osobennosti volnovyh polej prodol'nyh i poperechnyh voln pri glubinnyh sejsmicheskikh issledovaniyah na akvatorijah / Kashubin S.N., Sakulina T.S., Pavlenkova N.I., Lukashin Ju.P. // Tehnologii sejsmorazvedki. – 2011. – №4. – S. 88-102.
5. Krylov S.V., Sergeev V.N. Svoystva golovnyh voln i novye vozmozhnosti avtomatizacii ih obrabotki // Geologija i geofizika. – 1985. – № 4. – S. 92-102.
6. Poljanskij P.O., Sal'nikov A.S., Emanov A.F., Zhabin V.V. Vremennye razrezy golovnyh voln verhnej chasti zemnoj kory na opornom profile 3-DV (Severo-vostochnyj uchastok) // Geologija i mineral'no-syr'evye resursy Sibiri. – 2016. – №2. – S.86-95.
7. Polyanskij P.O., Emanov A.F., Sal'nikov A.S. Dinamicheskij pereschet golovnyh voln na Central'nom uchastke opornogo profilya 3-DV: osobennosti metodiki i interpretaciya vremennyh razrezov // Geofizicheskie issledovaniya. – 2018. – т. 19. – №2. – S. 5-33.



8. Solov'ev V.M., Seleznev V.S., Sal'nikov A.S., Shibaev S.V., Timofeev V.Ju., Lisejkin A.V., Shenmajer A.E. Osobnosti sejsmicheskogo stroenija oblasti sochlenenija Evrazijskoj i Ohotomorskoj plit na Vostoke Rossii (v stvore opornogo profilja 3-DV) // Geologija i geofizika. – 2016. – T.57. – №11. – S.2044-2058.

9. Starobinec A.E., Starobinec M.E. Cifrovaja obrabotka i interpretacija dannyh metoda prelomlennyh voln. – M.: Nedra, 1983. – 207 s.

10. Chehov A.D. Glubinnye razlomy In'jali-Debinskogo sinklinorija i nekotorye osobnosti razmeshhenija magmaticeskikh obrazovanij i orudenenija / Chehov A.D. // Novye dannye po geologii Severo-Vostoka SSSR. Magadan: SVKNII DVNC AN SSSR, 1976. – S. 34-48.

© П. О. Полянский, А. Ф. Еманов, А. С. Сальников, 2021