

## **ПРЕЛОМЛЯЮЩИЕ ГРАНИЦЫ В ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ ЗЕМНОЙ КОРЫ НА ОПОРНОМ ПРОФИЛЕ 1-СБ (ЗАБАЙКАЛЬСКИЙ УЧАСТОК)**

### ***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)894-5139, 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

Произведена цифровая обработка сейсмических данных, зарегистрированных на Забайкальском участке опорного геофизического профиля 1-СБ системой наблюдения глубинного МОВ-ОГТ. Для тектонических областей Аргунской складчатой системы, Монголо-Охотского пояса, Западно-Становой и Селенгино-Яблонево́й складчатых систем, пересекаемых Забайкальским участком, с помощью метода динамического пересчета преломленных волн выделены поля продольных и поперечных преломленных волн и построены временные разрезы, отображающие структуру преломляющих горизонтов в верхней части земной коры. Получены сейсмические разрезы, охватывающие диапазон глубин 0-2 км: в зоне Аргунской складчатой системы определены границы интрузивного тела, на интервале глубин 0.5÷1.0 км подстилающего линзовидные толщи осадочных пород, а в северной части Монголо-Охотского пояса на глубине 1.6-2.0 км зафиксирована кровля кристаллического фундамента.

**Ключевые слова:** цифровая обработка сейсмических данных, опорный геофизический профиль 1-СБ (Забайкальский участок), преломленные волны, временной разрез, двумерная фильтрация, сейсмический разрез.

## **UPPER EARTH CRUST'S REFRACTION HORIZONS ON TRAVERSE 1-SB (TRANSBAIKALIAN PART)**

### ***Pavel O. Polyansky***

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

### ***Alexander F. Emanov***

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

*Alexandr S. Salnikov*

Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources, 67, Krasny Prospect St., Novosibirsk, 630091, Russia, D. Sc., Head of Department of Exploration Seismology, phone: (383)222-62-13, e-mail: assalnikov@mail.ru

Digital processing of seismic data, which are registered on Transbaikalian part of reference geophysical profile 1-SB, is executed. These data are registered on CDP source-receiver configuration. Time sections images and wavefields of P- and S- head waves are result from technique of head waves dynamic conversion. These time sections are image a structure of refraction boundaries on the upper Earth crust on some areas of Argunskaya fold area, Mongol-Okhotsky fold belt, West-Stanovaya and Selengino-Yablonevaya fold areas. Seismic sections of depth interval of 0-2 km are constructed. Boundaries of intrusive body are detected on upper crust of Argunskaya fold area. This body is underlying lens shaped sedimentary layers on depth interval of 0.5÷1.0 km. Top of crystalline basement is established on the depth interval of 1.6-2.0 km on the northern part of Mongol-Okhotsky fold belt

**Key words.** Digital processing of seismic data, reference geophysical traverse 1-SB (Transbaikalian part), head waves, time section, F-K filtering, seismic section.

### *Введение*

Забайкальский участок профиля 1-СБ пересекает Центрально-Азиатский складчатый пояс в север-северо-западном направлении. В современном структурном плане профиль проходит через Аргунскую складчатую систему, Монголо-Охотский складчатый пояс, Западно-Становую и Селенгино-Яблоневою складчатые системы [1].

Для определения сейсмогеологической структуры земной коры на опорном профиле 1-СБ используется комплекс дополняющих друг друга сейсмических методов ГСЗ, МОВ-ОГТ и КМПВ, основанных на регистрации отраженных и преломленных сейсмических волн, соответствующих геологическим границам раздела в разных интервалах глубин в земной коре и в верхней части мантии. На Забайкальском участке профиля 1-СБ осуществляется обработка и интерпретация данных отраженных волн, зарегистрированных системами наблюдения МОВ-ОГТ [9], а также данных преломленных волн, зарегистрированных системой наблюдения КМПВ [10], с построением моделей земной коры. В это же время, данные, регистрируемые системой наблюдений МОВ-ОГТ с высокой кратностью перекрытия (150-200) содержат более детальную информацию о преломляющих границах в верхней части земной коры, чем получаемая с помощью системы наблюдений КМПВ, однако методы "ручной" кинематической обработки не позволяют извлечь эту информацию. Представляемая статья посвящена результатам цифровой обработки данных преломленных волн, регистрируемых детальной системой наблюдения МОВ-ОГТ на Забайкальском участке профиля 1-СБ методом динамического пересчета и определению характеристик преломляющих границ в верхней части земной коры. Метод динамического пересчета головных волн [3, 4] адаптирован для обработки данных, регистрируемых на опорных профилях протяженностью 700-1000 км [7], и с успе-

хом использован для уточнения сейсмогеологической структуры верхней части земной коры на опорном профиле 3-ДВ, пересекающем часть Сибирской платформы, Предверхоханского краевого прогиба и Верхояно-Колымской складчатой системы [5 – 8].

### Цифровая обработка данных

Для повышения соотношения сигнал/помеха для сейсмических данных, регистрируемых на профиле, перед их дальнейшей обработкой методом динамического пересчета в ряде случаев применялась двумерная фильтрация сейсмограмм для подавления случайных и монохроматических помех, а также сигналов поверхностных и акустических волн: в плоскости частота-волновое число каждой группы волн соответствует своя область. Так как значения кажущихся скоростей головных волн можно определить, то на плоскости были выделены области, соответствующие продольным и поперечным преломленным волнам, области вне темного контура на рис. 1, а соответствуют сигналам-помехам. Значения амплитуд вне темного контура обнуляются, а внутри него остаются неизменными, затем осуществляется двумерное обратное преобразование Фурье. Пример процедуры показан на рис. 1.

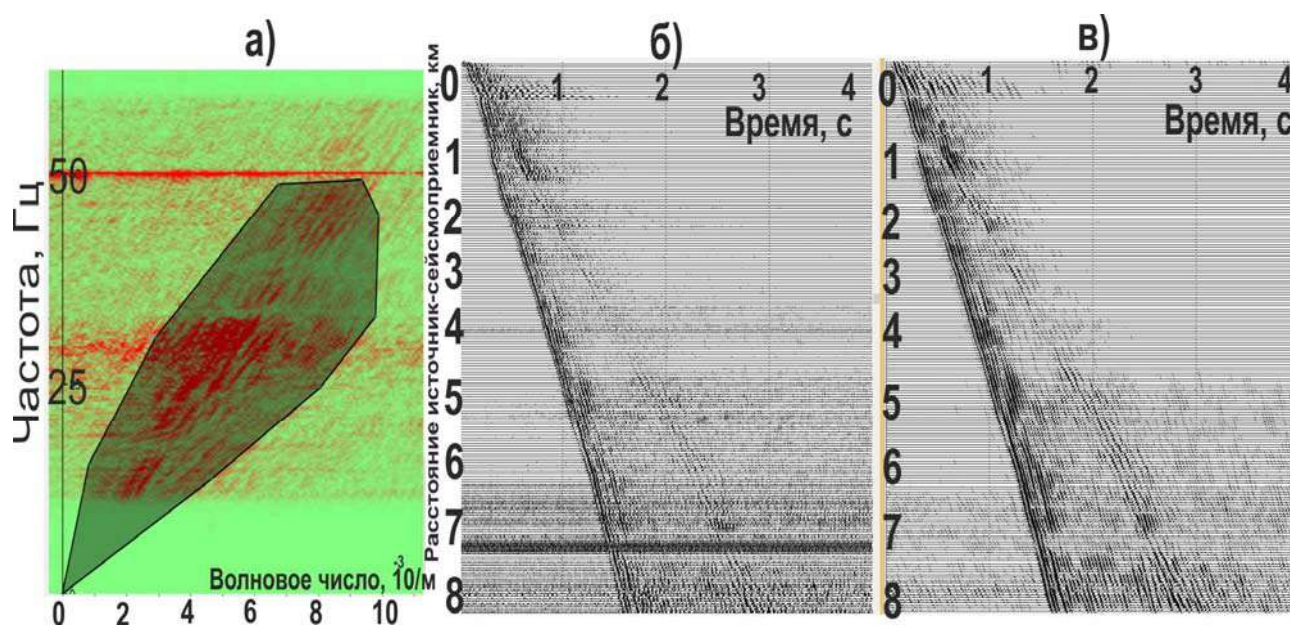


Рис. 1. Скоростная фильтрация сейсмограмм, зарегистрированных на профиле 1-СБ:

- а) Двумерный F-K спектр волнового поля: темный многоугольник ограничивает область, соответствующую сигналам преломленных волн; б) исходная сейсмограмма; в) сейсмограмма – результат скоростной фильтрации

Автоматизированная обработка преломленных волн методом динамического пересчета основана на свойстве их когерентности по пространству: ме-

тод позволяет выделить поля волн, нагоняющие годографы которых параллельны, попутно подавить поля волн, нагоняющие годографы которых не параллельны друг другу, а также ослабить случайные помехи. Для пересчета волновых полей по записям множества сейсмограмм, лежащих внутри области полезной информации [3], вычисляются амплитудно-частотные характеристики оптимального фильтра Винера. Результаты динамического пересчета могут быть представлены как в виде сейсмограмм ОПВ, так и в виде временных разрезов – наборов трасс, характеризующихся фиксированным значением базы  $L$  (в рамках метода – расстояния между источником и сейсмоприемником). Временные разрезы отображают геологические границы в поле преломленных волн, позволяют определить изменения граничной скорости преломленных волн по латерали, а также установить частотный состав сигналов преломленных волн. На рис. 2 представлен временной разрез по всей длине Забайкальского участка профиля 1-СБ.

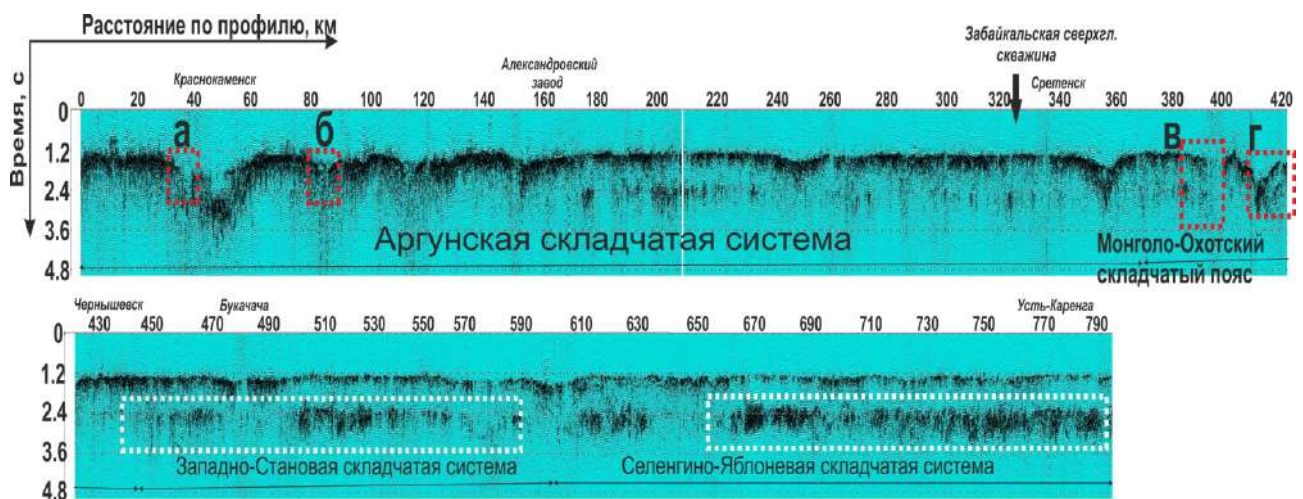


Рис. 2. Временной разрез по преломленным волнам по всей длине Забайкальского участка профиля 1-СБ ( $L=\text{const}=7$  км).

Красными прямоугольниками *a*)-*б*) ограничены фрагменты волнового поля, приведенные на сейсмограммах (рис. 3, *a*–*б*, соответственно). Белые прямоугольники указывают на сигналы, соответствующие поперечным преломленным волнам

В первых вступлениях временного разреза прослеживается непрерывная ось синфазности, соответствующая продольным преломленным волнам. Несмотря на ее непрерывность, волны первых вступлений, регистрируемые на профиле такой протяженности, соответствуют геологическим разделам различной природы и возраста. В интервалах временного разреза, соответствующих части Западно-Становой и Селенга-Яблонево́й складчатых систем были выделены поля не только продольных, но и поперечных преломленных волн, обведенные белыми пунктирными прямоугольниками на рис. 2.



## Интерпретация полей преломленных волн

Рассмотрим примеры волновых полей (рис. 3), зарегистрированных в разных тектонических блоках, пересекаемых участком профиля 1-СБ. Цветными линиями на этом рисунке показаны оси синфазности различных продольных волн, а цифры соответствуют значениям кажущихся скоростей волн. На рис. 3, а и б показано волновое поле, зарегистрированное в пределах Аргунской складчатой системы (на интервалах профиля 40-50 км и 80-90 км, соответственно). Волновое поле, зафиксированное в северной части пересекаемой профилем области Монголо-Охотского складчатого пояса представлено на рис. 3, в (интервал профиля 390-400 км). Следует отметить, что в волновом поле зоны сочленения Монголо-Охотского складчатого пояса и Западно-Становой системы (интервал 420-430 км, рис. 3, г) в первых вступлениях поочередно сменяют друг друга не две, а три продольные волны. Следовательно, в верхней части земной коры этой области можно ожидать наличие не одной, а двух преломляющих границ.

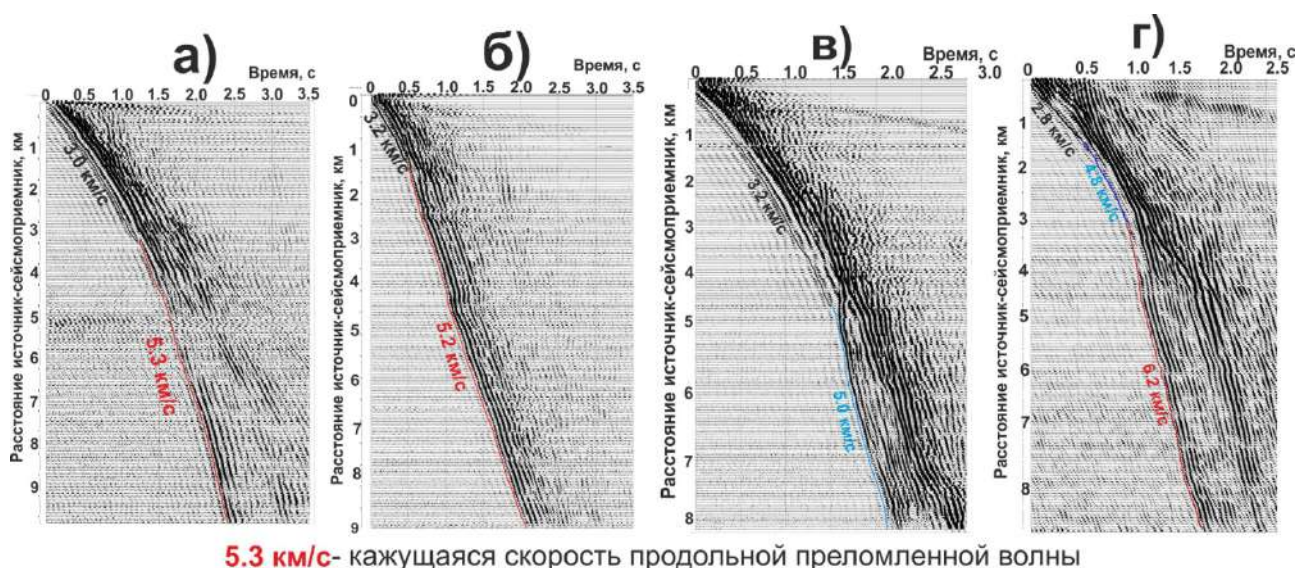


Рис. 3. Примеры сейсмограмм, зарегистрированных на Забайкальском участке профиля 1-СБ.

Цветными линиями показаны области прослеживания продольных преломленных волн

Для временных разрезов по головным волнам, получаемых методом динамического пересчета, характерна особенность, не свойственная временным разрезам отраженных волн: преломленные волны, фиксируемые в последующих вступлениях временного разреза, зачастую соответствуют менее глубокозалегающим границам. Такой случай показан на рис. 4, а: в интервале 35-45 км в последующих вступлениях временного разреза черной линией показана ось синфазности волны, скорость которой составляет 3.0-3.2 км/с. На сейсмограммах на рис. 3, а область прослеживания этой волны также отмечена черной ли-

нией. Граничная скорость волны, прослеживаемой в первых вступлениях разреза, показанной красной линией, варьирует по латерали от 5.2 до 5.5 км/с, соответственно, именно волна первых вступлений соответствует более глубокозалегающей преломляющей границе. График значений глубины залегания преломляющей границы, которой соответствует "красная" волна показан на рис. 4, б. Таким образом, в интервалах профиля 30-65 км и 75-100 км, расположенных в Аргунской складчатой системе, в интервале глубин 0-0.5÷1.0 км и 0-0.3÷0.8 км выделены два линзообразных слоя со средней скоростью продольных волн 3.0-3.3 км/с, ограниченные снизу разделом, с граничной скоростью продольных преломленных волн 5.3-5.5 км/с. В интервале разреза 65-75 км фиксируется скорость продольной волны 5.4 км/с.

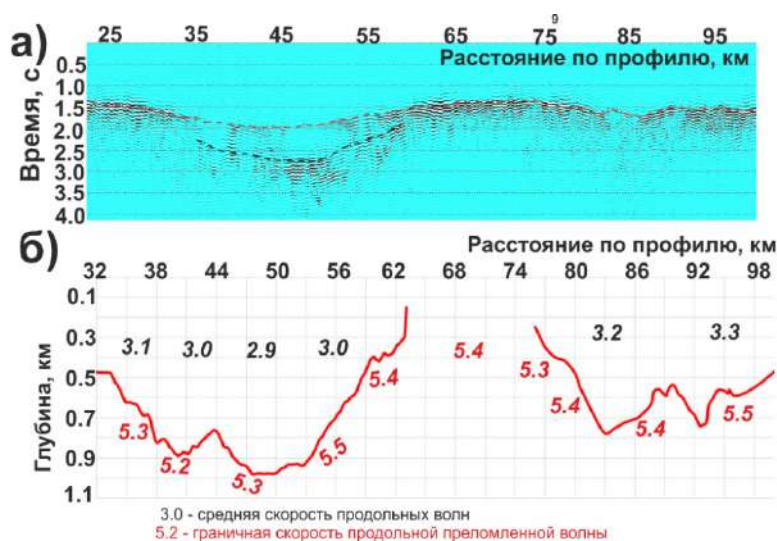


Рис. 4. К интерпретации поля преломленных волн:

а) фрагмент временного разреза  $L=7$  км (Аргунская складчатая система); б) фрагмент сейсмического разреза верхней части земной коры по данным продольных преломленных волн

Полученные значения скорости продольных волн в выделенных линзообразных толщах, соответствуют осадочным породам [2], значения граничной скорости "красной" волны, соответствуют магматическим породам. Геологическое строение [1] согласуется с построенным сейсмическим разрезом – вероятно, линзообразные слои представляют собой осадочные породы позднеюрского и раннемелового возраста, в то время как преломляющая граница, которой соответствует "красная" волна первых вступлений, представляет собой поверхность интрузивного тела, состоящего из гранитов триасового и среднеюрского возраста, в интервале профиля 63-75 км прослеживаемых на дневной поверхности.

Несомненный интерес представляет северный фрагмент Монголо-Охотского пояса, неподалеку от зоны его сочленения с Западно-Становой складчатой системой. Временной и сейсмический разрезы по этой части профиля показаны на рис. 5.

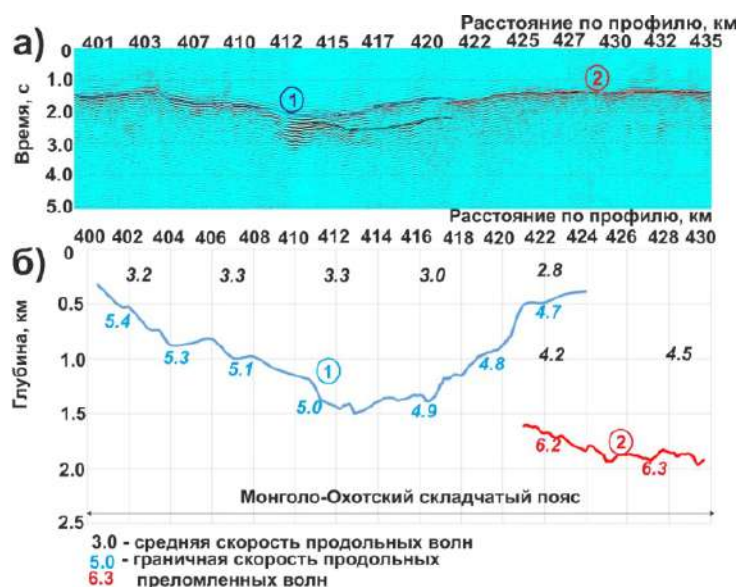


Рис. 5. К интерпретации поля преломленных волн:

- а) фрагмент временного разреза  $L=7$  км (Монголо-Охотский складчатый пояс);
- б) сейсмический разрез по данным продольных преломленных волн

Сейсмограммы, соответствующие описываемому участку профиля, представлены на рис. 3, в и г. На отметке временного разреза (рис. 5, а) 422 км наблюдается смена волны первых вступлений. Вместо "синей" волны, в первые вступления выходит "красная" продольная волна. Учитывая высокие значения граничной скорости (6.2-6.3 км/с), вполне возможно, что эта волна соответствует кровле кристаллического фундамента. На рис. 5, б показан сейсмический разрез: глубина залегания кровли фундамента (показана красной линией) составляет 1.6-2.0 км. Выше фундамента расположен слой с средней скоростью продольных волн 4.2-4.5 км/с. На отрезке профиля 400-425 км выделен линзовидный слой мощностью 0.5-1.5 км, средняя скорость продольных волн в котором изменяется от 2.8 до 3.3 км/с. Нижняя граница этого слоя, которой соответствует "синяя" волна на временном разрезе, характеризуется граничной скоростью продольной волны 5.4-4.7 км/с, уменьшающейся по латерали с юга на север.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Геологическая карта России и прилегающих акваторий, масштаб 1:2500000 / Под ред. Петрова О. В. и др. – СПб: Изд-во ВСЕГЕИ, 2012.
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. Временные разрезы головных волн верхней части земной коры на опорном профиле 3-ДВ (Северо-восточный участок) Полянский П. О., Сальников А. С., Еманов А. Ф., Жабин В. В. // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2016. – № 2. – С. 86–95.
6. Временные разрезы головных волн верхней части земной коры на опорном профиле 3-ДВ (Северо-западный участок) Полянский П. О., Сальников А. С., Еманов А. Ф., Жабин В. В. // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2017. – № 2. С.112-122.
7. Динамический пересчет головных волн на Центральном участке опорного профиля 3-ДВ: особенности методики и интерпретация временных разрезов Полянский П. О., Еманов А. Ф., Сальников А. С., Жабин В. В. // Геофизические исследования. – 2018. – Т. 19. – №1. – С.5-33.
8. Полянский П. О., Еманов А. Ф., Сальников А. С. Изучение характеристик преломляющих горизонтов верхней части земной коры на Южном участке профиля 3-ДВ // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XIV Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология» : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 23–27 апреля 2018 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2018. Т. 4. – С. 17–25.
9. Рудницкая Д. И., Сальников А. С., Старосельцев В.С. Проявление сдвиговой тектоники земной коры Забайкалья на полях РЕАПАК-атрибутов (в разрезе сейсмического профиля 1-СБ) // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2016. – №2. – С. 3-9.
10. Суворов В. Д., Мельник Е. А., Сальников А. С. Региональное структурно-тектоническое районирование верхней коры Забайкалья по данным КМПВ (профиль 1-СБ, Южный участок) // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2017. XIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология» : сб. материалов в 4 т. (Новосибирск, 17–21 апреля 2017 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2017. Т. 2. – С. 100–105.

© П. О. Полянский, А. Ф. Еманов, А. С. Сальников, 2019