

## **СЕЙСМИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ЗЕМНОЙ КОРЫ В КОЛЛИЗИОННОЙ ЗОНЕ СИБИРСКОГО КРАТОНА И ВЕРХОЯНО-КОЛЫМСКОЙ СКЛАДЧАТОЙ СИСТЕМЫ (ПРОФИЛЬ 3-ДВ)**

*Владимир Дмитриевич Суворов*

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник, тел. (383)330-60-18, e-mail: SuvorovVD@ipgg.sbras.ru

*Елена Александровна Мельник*

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, кандидат геолого-минералогических наук, зав. лабораторией, тел. (383)330-60-18, e-mail: MelnikEA@ipgg.sbras.ru

Признаки коллизионной структуры выражены в верхней коре передовым Приверхоянским и локальным тыловым прогибами, разделенными высокоскоростным массивом, скорее всего, магматического происхождения. Граница кратона под углом около 15° погружается под кору складчатой системы, где характерный для кратона слой нижней коры со скоростью 6,7-6,9 км/с отсутствует и скорость во всей коре также пониженная. Скорость на Мохо в кратоне повышена до 8,3 км/с, а под складчатой системой уменьшена до 7,9-8,0 км/с.

**Ключевые слова:** земная кора, скорость преломленно-рефрагированных и отраженных продольных волн, метод лучевого трассирования, коллизионная зона, Сибирь.

## **SEISMIC STRUCTURE OF THE CRUST IN THE COLLISION ZONE BETWEEN SIBERIAN CRATON AND VERHOYANO- KOLYMA FOLDED SYSTEM (3-DV PROFILE)**

*Vladimir D. Suvorov*

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 3, Prospect Akademik Koptuyug St., Novosibirsk, 630090, Russia, D. Sc., Chief Researcher, phone: (383)330-60-18, e-mail: SuvorovVD@ipgg.sbras.ru

*Elena A. Melnik*

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 3, Prospect Akademik Koptuyug St., Novosibirsk, 630090, Russia, Ph. D., Head of Laboratory, phone: (383)330-60-18, e-mail: MelnikEA@ipgg.sbras.ru

The signs of the collisional structure are expressed in the upper crust by the advanced Priverhoyansk forland and local hinterland basins is separated by a high-speed array, most likely of magmatic origin. The boundary of the craton at an angle of about 15° is submerged under the crust of the folded system, where the characteristic layer of the craton lower crust at velocity of 6,7–6,9 km /s is absent and the velocity in a whole crust is reduced, as well as along the Moho from 8,3 to 7,9-8,0 km / s.

**Key words:** the crust, refracted, reflected P-waves, forward ray tracing, seismic velocity, collision zone, craton, folded system, Siberia.

## Введение

Рассматриваемые данные являются частью комплекса геофизических и геологических исследований вдоль профиля 3-ДВ, входящего в систему опорных региональных профилей Российской Федерации [1, 6]. Рассматриваемая часть профиля пересекает слабо изученную геолого-геофизическими методами зону сочленения архейского Сибирского кратона и мезо-кайнозойской Верхояно-Колымской складчатой системы [2, 3]. Изучение структуры земной коры такой области представляет интерес в связи с геодинамической интерпретацией тектонических блоков, выделенных, в основном, по данным приповерхностной геологической изученности и региональной геофизики [1, 3, 5, 6].



Рис. 1. Положение рассматриваемого участка профиля 3-ДВ на структурной схеме [3]. Криволинейная трасса наблюдений (вдоль зимней автотрассы) показана жирной линией с номерами пунктов возбуждения МПВ.

Приведены названия пересеченных профилем тектонических структур: СД – Сетте-Дабанская тектоническая зона, О – Окраинный, В – Восточно-Сетте-Дабанский

Представляемые здесь результаты заметно отличаются от рассмотренных в [4]. Увеличена длина участка профиля 3-ДВ в сторону складчатой области, а дополнительные уточнения, связанные с использованием не только волн в первых вступлениях, но и отраженных, позволили более обосновано интерпретировать зону сочленения, как коллизионную структуру.

## Данные и способы обработки

Сейсмические наблюдения вдоль криволинейного профиля получены по двум системам наблюдений МПВ (метод первых вступлений) и ГСЗ. В качестве источников возбуждения МПВ использовалась группа вибраторов «Русич» (30 т) с шагом вдоль линии наблюдений 10 км при длине свипа 30 с в полосе частот

10-36 Гц. Длина расстановки станций (input-output) равнялась 40 км при шаге между сейсмоприемниками 50 м. Пункты возбуждения (ПВ) и наблюдения размещались вдоль автомобильной трассы, поэтому фактическое расстояние между ПВ изменялось в интервале 7-9 км, а расстояние источник-приемник до 35-38 км в зависимости от кривизны дороги. Положение профиля определено ломаной линией, соединяющей ПВ, длина которой меньше расстановки сейсмоприемников.

Система наблюдений ГСЗ определена средним расстоянием между пунктами возбуждения (взрывы в неглубоких водоемах) 15-30 км, телеметрическими четырьмя канальными станциями «Роса-А» с шагом между ними 3-6 км и расстоянием источник-приемник до 400-500 км.

Построение сейсмического разреза верхней коры проведено прямым лучевым трассированием методом направленного подбора [7] при невязках между наблюдаемыми и теоретическими временами пробега волн, не превышающих в среднем 0,05-0,07 с. В зависимости от кривизны линии наблюдения и влияния латеральных неоднородностей, когда положение лучевых плоскостей на встречных годографах значительно различалось, невязки на отдельных локальных участках могли увеличиваться до 0,1-0,15 с.

По данным ГСЗ невязки увеличивались в среднем до 0,1-0,2 с, что примерно соответствует фазе регистрируемых колебаний. Однако, на отдельных локальных участках невязки также возрастали (вследствие кривизны линии наблюдения и влияния латеральных неоднородностей), особенно при моделировании годографов отраженных волн, регистрирующихся в последующих вступлениях, где подбор параметров осуществлялся не по временам первых вступлений, а по наиболее интенсивным фазам колебаний.

Примеры виброграмм и результаты моделирования иллюстрируют волновую картину на участках профиля с наиболее отчетливыми фазами отраженных волн, определяющими возможность обнаружения слоистости в пределах прогибов. Важно отметить различие в качестве прослеживаемости отраженных волн в прямом и встречном направлениях. Часто это связано с геометрией отражающих горизонтов и, по-видимому, повышенным фоном помех в виде интенсивных боковых отражений, а также и случайного шума. В таких случаях непрерывность построения отражающих границ вдоль профиля является условной из-за отсутствия отражений на отдельных участках профиля. Так, например, отраженные волны являются более отчетливыми во встречном направлении (рис. 2), тогда как в прямом направлении их прослеживание затруднено помехами значительной интенсивности. Отметим также увеличение времен пробега волн и повышенное затухание интенсивности волн в окрестности первых вступлениях в сторону Тылового прогиба, заполненного породами с относительно пониженной скоростью. В прямом направлении мощность слоев значительно уменьшается, что определяет сближение годографов закритических отражений.

Особенности моделирования структуры земной коры связаны с повышенной ролью закритических отраженных волн, прослеживаемых в последующих и в видимых первых вступлениях (левая сейсмограмма на рис. 3).

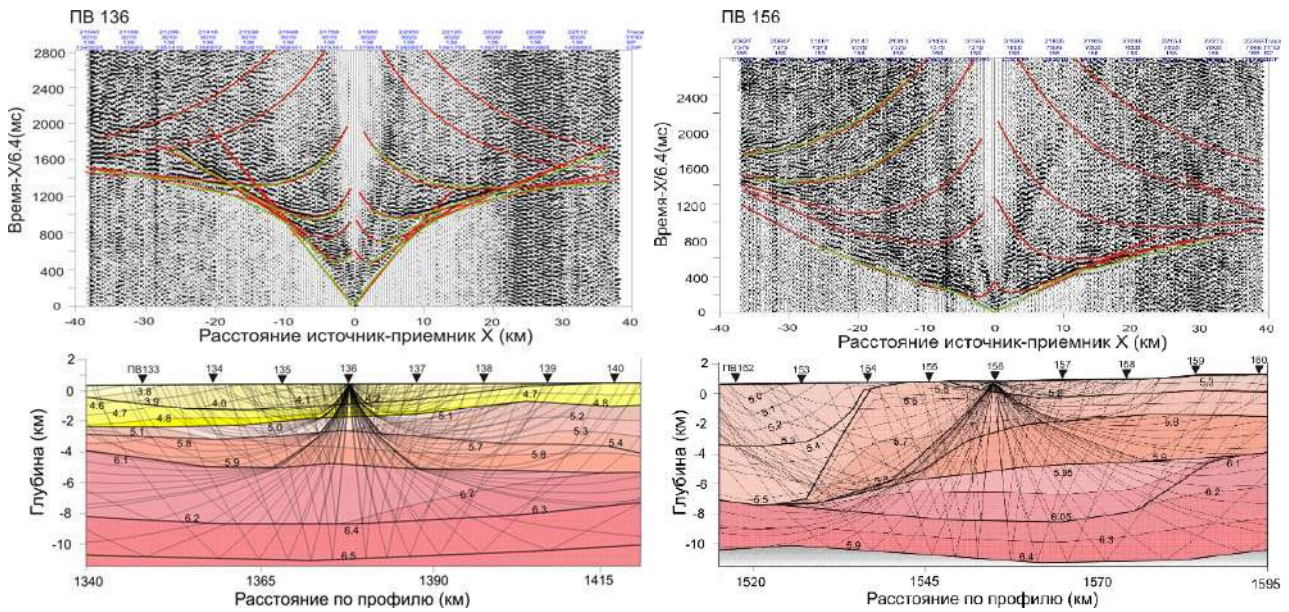


Рис. 2. Примеры редуцированных виброграмм (нормализованные) и лучевых схем распространения преломленно-рефрагированных и отраженных волн на участке Приверхоянского (слева) и Тылового (справа) прогибов с наблюдаемыми и теоретическими годографами при скорости редуции 6,4 км/с.

На разрезе толстые линии соответствуют границам со скачком скорости, тонкие – изолиниям скорости в км/с. Пункты возбуждения показаны треугольниками с номерами

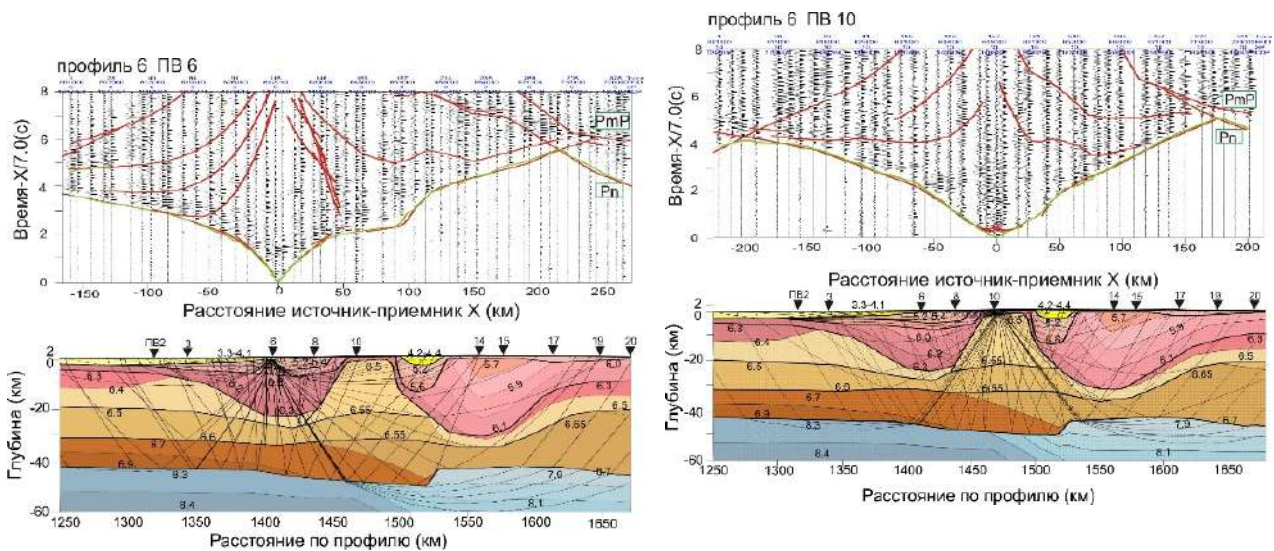


Рис. 3. Примеры редуцированных (нормированных и фильтрованных в полосе частот 2-5-17-20Гц) сейсмограмм ГСЗ (скорость редуции 7,0 км/с) и результаты моделирования совместно с лучевыми траекториями распространения волн.

Pn - преломленная и PmP отраженная волны от Мохо. Другие условные обозначения см. на рис. 2

В прямом направлении из этого же ПВ волны, пересекающие высокоскоростную аномалию (выражена участком повышенной кажущейся скорости), характеризуются пониженной интенсивностью. При этом годограф отраженной волны от Мохо в закритической области (в зоне коллизии) имеет сложную форму при довольно протяженной области интенсивных отражений между модельными годографами волн Pn и PmP, (ПВ 6, левая часть рис. 3). Хорошо видно также повышение значений времен пробега волны Pn в складчатой области в сравнении с кратоном, достигающие 1с, а в рельефе Мохо наблюдается скачкообразное уменьшение глубины его залегания. Это сопровождается понижением скорости вследствие значительного утолщения слоя верхней коры со скоростью 5,9-6,2 км/с.

### Результаты

В сейсмическом разрезе верхней коры выявлены Приверхоанский передовой и тыловой прогибы, разделенные блоком с аномально повышенной до 6,5-6,6 км/с скоростью (рис. 4). Протяженность передового прогиба около 250 км, тыловой около 30 км. Относя к поверхности архейского фундамента границу со скоростью 5,9-6,2 км/с на глубине около 1-2 км, наблюдаемую в прибортовой платформенной части Вилюйской синеклизы, можно предполагать его погружение в передовом прогибе на глубину 6 км.

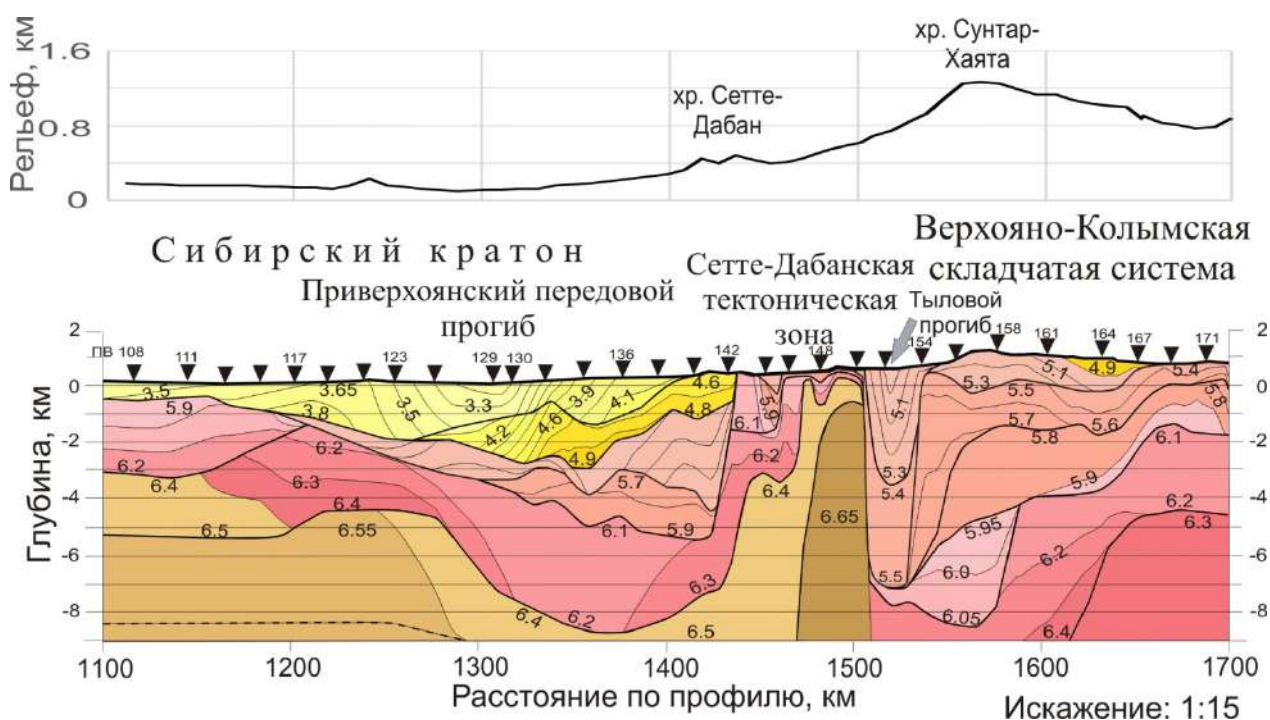


Рис. 4. Сейсмический разрез верхней коры с рельефом дневной поверхности (вверху).

Жирные линии соответствуют границам выделенных слоев с скачком скорости или изменениями ее градиентов. Значения скорости даны в км/с. Черными треугольниками показаны пункты возбуждения с номерами

При этом покрывающую толщу пород со скоростью 4,6-5,9 км/с можно отнести к дислоцированным палеозойским отложениям. Остается не понятной природа толщи пород со скоростью 6,1-6,2 км/с и мощностью в прогибе до почти 4 км. В западной приплатформенной части разреза скорость в этом слое увеличивается до 6,2-6,4 км/с. При этом в тыловом прогибе мощностью до 7 км залегают породы с примерно такой же скоростью 4,2-5,6 км/с как и в передовом.

Разделяет эти прогибы блок (возможно, магматический массив) протяженностью около 40 км. В западной его части скорость понижена до 5,9-6,1 км/с и увеличивается с глубиной до 6,4-6,5 км/с. Восточная, штокообразная часть, характеризуется скоростью 6,5-6,6 км/с при практически не изменяющейся с глубиной скоростью до 6,60-6,65 км/с, характерной для основных пород.

Интерес вызывает сравнение особенностей дневного рельефа относительно расположения структурных особенностей верхней коры. Так, понижение рельефа в начальной части профиля соответствует передовому прогибу, но Тыловой располагается на горном склоне хр. Сунтар-Хаята, что не является характерным для структуры, заполняющейся осадочными отложениями. Это можно объяснить тем, что время формирования Тылового прогиба (вероятно, одновозрастного с передовым) предшествовало горообразованию, обусловленному коллизией. Отсюда также следует, что и магматический массив также может иметь доколлизионный возраст.

Уточненная структура земной коры (в сравнении с [4]) при более отчетливых коллизионных признаках, представленных выклинивающимся слоем нижней коры со скоростью 6,7-6,9 км/с и значительным (до глубины 30 км) утолщением верхней коры со скоростью 5,7-6,2 км/с (рис. 5).

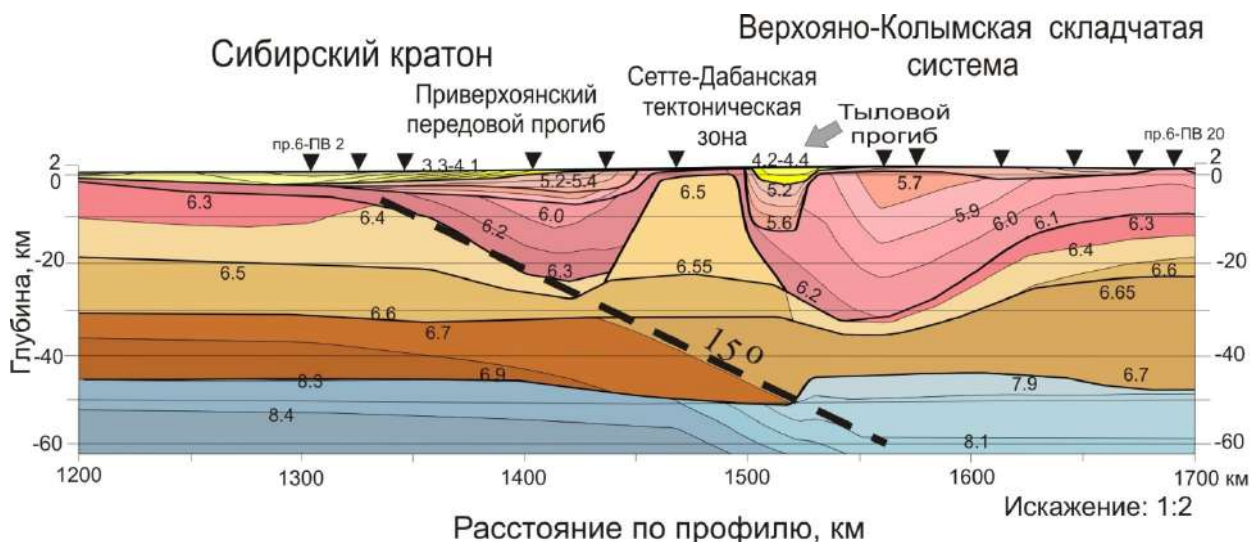


Рис. 5. Сейсмический разрез земной коры вкосте простираения коллизионной зоны.

Толстые линии – сейсмические границы со скачком скорости или с изменениями ее градиента, тонкие – изолинии скорости с значениями в км/с. Штриховой черной линией показана граница кратона, падающая на восток под углом около 15°. Черные треугольники с номерами – положение пунктов возбуждения ГСЗ

Глубина Мохо в коллизионной зоне скачком уменьшается от 50 до 45 км, маркируя положение границы кратона в коре вдоль вероятного разлома с углом падения около 15°. Размеры магматического массива увеличиваются от 40 км вблизи поверхности до 80 км на глубине около 25 км, где характеризующая его скорость 6,5-6,6 км/с приближается к ее значениям в нижней коре. Также по данным ГСЗ, фактически по временам пробега отраженных волн от внутрикоровой границы на глубине около 30 км и Мохо, мощность пород с относительно пониженной скоростью в Тыловом прогибе увеличилась по сравнению с данными преломленно-рефрагированных волн, распространяющихся в верхней коре (рис. 2, слева, рис. 4), от 7-8 до 12-14 км.

*Работа выполнена при поддержке проекта ФНИ № 0331-2019-0006 «Структуры и напряженно-деформированное состояние земной коры платформенных и складчатых областей Центральной Азии на основе совместного решения обратных задач сейсмологии и гравиметрии».*

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Государственная сеть опорных геолого-геофизических профилей, параметрических и сверхглубоких скважин – основа глубинного 3D картографирования территории Российской Федерации и ее континентального шельфа / С.Н. Кашубин, Е.Д. Мильштейн, И.Ю. Винокуров, Ю.М. Эринчек, Р.Б. Сержантов, В.Ю. Татаринцов // Региональная геология и металлогения. – 2016. – № 67. – С. 43–48.
2. Модель формирования орогенных поясов Центральной и Северо-Восточной Азии / Л.М. Парфенов, Н.А. Берзин, А.И. Ханчук, Г. Бадарч, В.Г. Беличенко, А.Н. Булгатов, С.И. Дриль, Г.Л. Кириллова, М.И. Кузьмин, У. Ноклеберг, А.В. Прокопьев, В.Ф. Тимофеев, О. Томуртоого, Х. Янь // Тихоокеанская геология. – 2003. – Т. 22. – № 6. – С. 7–41.
3. Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия) / Под редакцией Л.М. Парфенова и член-корреспондента РАН М.И. Кузьмина. – М.: МАИК «Наука/Интерпериодика», 2001. – 571 с.
4. Суворов В.Д., Мельник Е.А. Сейсмическая структура земной коры в зоне сочленения Сибирского кратона и Верхояно-Колымской складчатой системы (профиль 3-ДВ) // Интерэкспо ГЕО-Сибирь: XIV Международный научный конгресс: 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. 264-271.
5. Концепция региональных геофизических исследований для геологических и минералогических целей / Ю.К. Щукин, В.А. Ерхов, С.Л. Костюченко, А.В. Липилин, А.К. Сулейманов // Отечественная геология. – 2008. – №4. – С. 50-59.
6. Государственная сеть опорных геолого-геофизических профилей, параметрических и сверхглубоких скважин / Ю.М. Эринчек, А.В. Липилин, Р.Б. Сержантов, С.Н. Кашубин, Е.Д. Мильштейн // Геофизические методы исследования земной коры: Всеросс. конф., посвящ. 100-летию со дня рождения академика Н.Н. Пузырева: сб. материалов (Новосибирск, 8–14 декабря 2014 г.) – Новосибирск: Изд-во ИНГГ СО РАН, 2014. – С. 282-288.
7. Zelt C.A., Smith R.B. Seismic travel time inversion for 2-D crustal velocity structure // Geophysical Journal International. – 1992. – № 108 (1) – P.16–34.

© В. Д. Суворов, Е. А. Мельник, 2019