

Th C 09

Modeling of Crustal Structure in Siberia and the Far East According to the Wide-Angle Seismic and Gravity Along the 3-DV

V.D. Suvorov (IPGG SB RAS), E.A. Melnik* (IPGG SB RAS), E.V. Pavlov (IPGG SB RAS) & A.S. Salnikov (Joint-Stock Company SNIIGGiMS)

SUMMARY

Along the profile (length of about 3000 km) crossing the large structure in Siberia (Aldan-Stanovoi shield, south-east of the Siberian platform) and the Verkhoyansk-Kolyma fold area have been carried out seismic observations to study the deep structure and its relation to mineral specialization of major geological provinces. The modeling results of the crust according to the waves in the first and second arrivals from the observations in offsets up to 40 km (refraction data) and deep seismic soundings up to 300-400 km are considered. The forward ray tracing method was used to model the spatial distribution of velocity irregularities. The correlation between the seismic inhomogeneity's in the upper crust and tectonic units according to geological mapping ([website vcegei.ru/pub_ggk1000/Verhoyano-Kolymskaya/p-56.php](http://website.vcegei.ru/pub_ggk1000/Verhoyano-Kolymskaya/p-56.php)) is found. However, geological structures, extended to a depth of 6-8 km are different from the seismic features.

Correlation between gravity Bouguer anomalies and velocity structure of the crust and upper mantle is considered. A number of regional velocity features identified in the crust, the geodynamic nature of which and their influence on the formation of surface geological structures remain unclear.

Введение

В России выполняется программа создания сети опорных геофизических профилей с целью изучения глубинного строения коры и ее связи с минерагенической специализацией крупных геологических провинций (Липилин и др., 2000, Щукин и др., 2004, Эринчек и др., 2014). Мы рассматриваем результаты, изучения структуры земной коры вдоль профиля 3ДВ, пересекающего крупные структуры Сибири и Дальнего Востока (Алдано-Становой щит, юго-восточную часть Сибирской платформы и Верхояно-Колымскую складчатую систему, Рис. 1) сейсмическими методами КМПВ и ГСЗ.

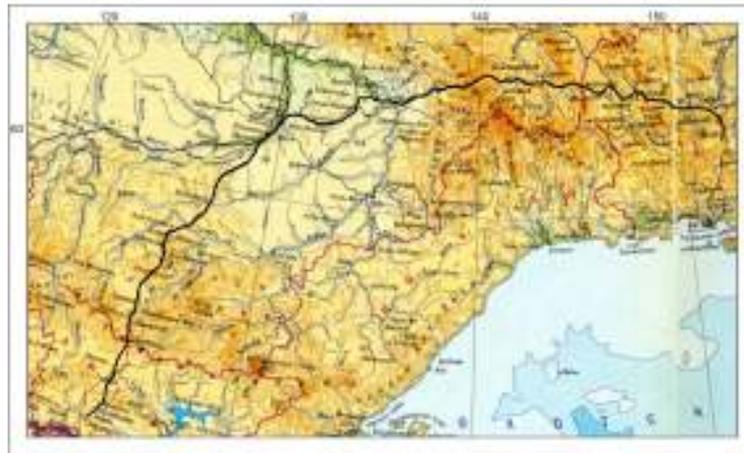


Рисунок 1 Схема расположения профиля 3-ДВ. Показан черной линией.

Данные и методы обработки

Наблюдения КМПВ производились при шаге между пунктами вибрационного возбуждения 10 км (по линии наблюдения), расстояние между сейсмоприемниками 50 м при длине наблюдений 40 км (ООО «НПП СПЕЦГЕОФИЗИКА»). Применялось группирование четырех 30 тонных вибратора СВ-30-150б «Русич» (группирование на базе 40-50 м при количестве вибровоздействий 10-16), линейный свип длительностью 30 с в полосе частот 10-36 Гц.

Наблюдения ГСЗ выполнялись автономными станциями «Роса-А» при производстве возбуждений взрывами в мелких водоемах и группами 40-тонных вибрационных источников (СНИИГГиМС, ГС СО РАН). Шаг между пунктами возбуждения 20-50 км в зависимости от поверхностных условий. Расстояние между регистраторами 4-8 км.

Построение глубинного разреза выполнялось методом прямого лучевого трассирования (Zelt, Smith, 1992). Главное условие его применения заключалось в возможности индивидуальной локализации скоростных неоднородностей соответствующих наблюдаемым аномалиям времен пробега волн. Задача довольно трудоемкая, поскольку реализация решения достигалась способом проб и ошибок.

На Рис. 2 приведен пример, иллюстрирующий результаты моделирования с представлением сейсмограммы КМПВ, наблюдаемых, теоретических годографов и соответствующей лучевой схемы распространения волн в верхней части разреза. Особенность примера заключается в контрастном изменении кажущейся скорости на годографах, которые отражаются и в свойствах разреза (Суворов и др., 2014). Заметим, что длина сейсмограммы в реальных расстояниях источник-приемник меньше, чем расстановка сейсмоприемников, равная 40 км. Это обусловлено кривизной линии наблюдения, соответствующей профилю автомобильной трассы.

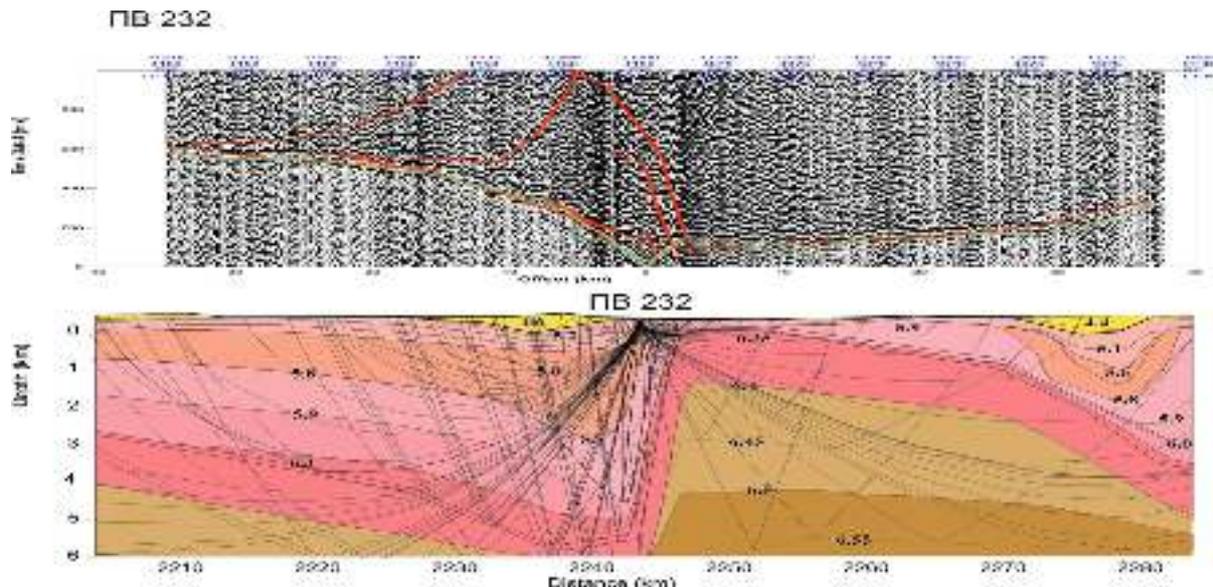


Рисунок 2 Примеры моделирования верхней части разреза по данным КМПВ в условиях контрастных складчатых структур и в зоне разлома (Верхояно-Колымская складчатая система). Представлены сейсмограммы с наблюдаемыми (зеленые линии) и теоретическими (красные) годографами волн в первых вступлениях. Внизу разрезы и лучевые схемы распространения волн. Показаны значения скорости в км/с.

Величина невязок между наблюдаемыми и теоретическими годографами не превышает фазы колебаний, что является удовлетворительным в данных условиях. Также видно, что наиболее удаленные ветви годографов могут быть представлены закритическими отражениями и преломленно-рефрагированными волнами, выходящими в первые вступления без резких изломов годографов, характерных для пологих слоистых структур. Нужно также иметь в виду, что разрез на данном участке получен по системе из 10 увязанных годографов.

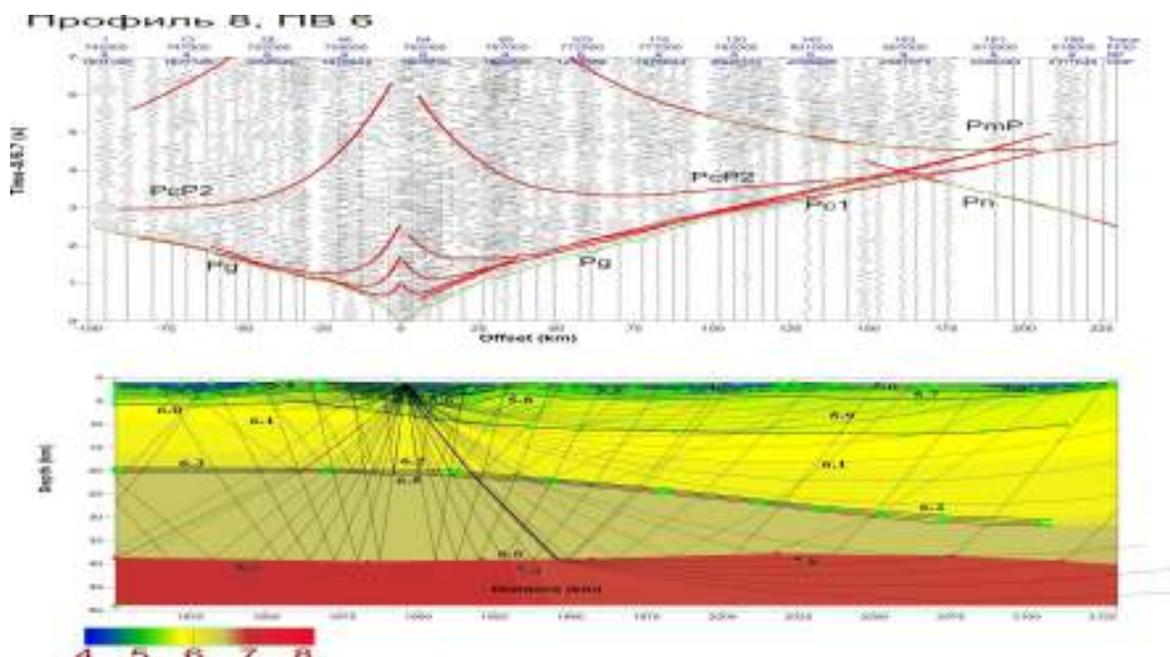


Рисунок 3 Пример моделирования структуры земной коры по данным ГСЗ. Вверху сейсмограмма с нанесенными наблюдаемыми (зеленые линии) и теоретическими (красные) годографами выделенных волн. Внизу разрез и лучевая схема распространения волн. Показаны значения скорости в км/с.

Пример моделирования структуры земной коры по наблюдениям ГСЗ, согласованного с данными КМПВ представлен на Рис. 3. Как видно, опорными волнами, распространяющимися в коре являются P_g - в верхней коре, P_{c1} - в средней, P_{c2} – отраженная от границы, разделяющей кору на два этажа и отраженную и преломленную волны от Мохо - P_mP и P_n соответственно. Повышенные невязки между теоретическими и наблюдаемыми годографами в правой части сейсмограммы обусловлены различием положения пунктов возбуждения и точек регистрации КМПВ и ГСЗ. Хорошо видно уменьшение разрешающей способности метода ГСЗ, при котором выделяются пологие (в сравнении с приповерхностными структурами) отражающие и преломляющие границы с протяженными аномальными изменениями скорости. Возникает, конечно, вопрос о причине не соответствия между складчатыми контрастными структурами верхней коры и пологими в средней и нижней ее частях.

Результаты

Результаты иллюстрируются разрезом земной коры на Рис. 4. В представленном масштабе земная кора выглядит сложной структурой, со значительными изменениями мощности слагающих слоев и латеральными изменениями скорости. В целом ее мощность повышена до 50 км под Алдано-Становым щитом и Сибирской платформой, тогда как под Верхояно-Колымской складчатой системой она понижена до 40 км.

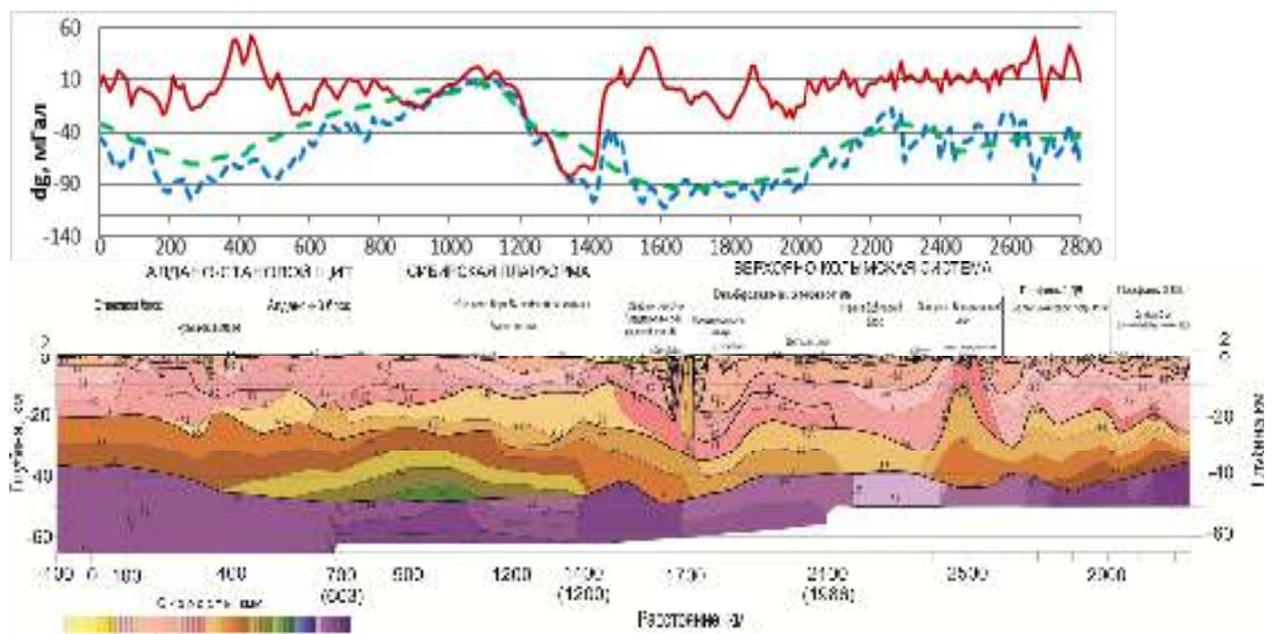


Рисунок 4 Сейсмический разрез земной коры вдоль профиля 3-ДВ. Вверху показаны графики гравитационного поля в аномалиях Фая по спутниковым данным (красная сплошная линия), штриховые – аномалии Буге (синяя) и сглаженная в круге радиусом 125 км (зеленая).

Значительное различие наблюдается под крупными структурами и в земной коре. Так, под Сибирской платформой и частично под щитом в нижней коре присутствует линзообразный слой с повышенной до 6,9-7,2 км/с скоростью. В Верхояно-Колымской системе скорость в нижней коре понижена до 6.5-6.7 км/с, а на финальном участке профиля повышается до 6.6-6.9 км/с.

Изменения рельефа и мощности слоев земной коры также значительно изменяется вдоль профиля. Наиболее пологое залегание характерно для области Сибирской платформы, заметно более контрастным становится рельеф под Верхояно-Колымской складчатой системой и наиболее выразительно проявлено на финальном участке профиля 2500-3000 км. Там согласная складчатость прослеживается через всю толщу земной коры от верхней части коры вплоть до Мохо, где она выполаживается. Отдельно можно отметить обнаруженное двухэтажное

строение Чульманской впадины, корни которой в фундаменте прослежены до глубины почти 20 км.

Достаточно контрастно изменяется скорость в верхах мантии от 7.8 до 8.3 км/с. В целом, преимущественно наиболее низкие ее значения 7.8-8.0 км/с характерны Верхояно-Колымской складчатой зоне, а повышенные до 8.0-8.3 км/с под Сибирской платформой. В зоне сочленения этих крупных структур, под Предверхоянским прогибом выделяется участок с повышенной до 8.3 км/с скоростью.

Определенная корреляция (пока качественно) наблюдается и между аномалиями Буге и рельефом Мохо, правда осложненная локальными неоднородностями, связанными со структурой коры. Более высокочастотная часть поля связана, скорее всего, с неоднородностями верхней коры.

Заключение

Получен большой пласт новых данных, требующих дальнейшей работы по изучению вероятной природы выявленных глубинных сейсмических и гравитационных аномалий и их возможной связи с минерагеническими особенностями распределения месторождений твердых полезных ископаемых.

Список литературы

Липилин А.В., Аккуратов А.В., Келлер М.Б., Щукин Ю.К. [2000] Создание государственной сети опорных геофизических профилей, параметрических и сверхглубоких скважин. *Региональная геология и металлогения*, **10**, 7-11.

Суворов В.Д., Мельник Е.А., Сальников А.С. [2014] Строение верхней части разреза земной коры по данным КМПВ вдоль профиля ЗДВ (Сковородино-Томмот-Якутск-Сусуман). *Геофизические методы исследования земной коры. Материалы Всероссийской конференции, посвященной 100-летию со дня рождения академика Н.Н. Пузырева*, 264-268.

Щукин Ю. К., Ерхов В. А., Костюченко С. Л., Липилин А.В., Сулейманов А.К. [2008] Концепция региональных геофизических исследований для геологических и минерагенических целей. *Отечественная геология*, **4**, 50-59.

Эринчек Ю.М., Липилин А.В., Сержантов Р.Б., Кашубин С.Н., Мильштейн Е.Д. [2014] *Геофизические методы исследования земной коры. Материалы Всероссийской конференции, посвященной 100-летию со дня рождения академика Н.Н. Пузырева*, 282-288.

Zelt C.A., Smith R.B. [1992] Seismic traveltime inversion for 2-D crustal velocity structure. *Geophys. J.*, **108**, 16-34.