



ТРЕХМЕРНЫЕ ПЛОТНОСТНАЯ И МАГНИТНАЯ МОДЕЛИ ПО ФРАГМЕНТУ ОПОРНОГО ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ 1-СБ

О. Г. Садур, Е. Ю. Гошко

Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья, Новосибирск, Россия

В силу ряда причин опорный геолого-геофизический профиль 1-СБ (протяженность 800 км) расположен по линиям автомобильных дорог, из-за чего нарушается его линейность. По линии профиля с использованием комплексных геолого-геофизических данных построены две модели: геоплотностная и геомагнитная. Однако их графическое восприятие ввиду криволинейности профиля не позволяет получить правильное представление об истинных размерах и пространственном положении структурно-тектонических элементов земной коры. Для устранения этих недостатков в полосе профиля шириной 90 км нами получены геоплотностная и геомагнитная объемные модели на основе решения прямых и обратных задач одновременно (с учетом взаимного влияния полей как по профилям, так и между ними) по девяти прямолинейным расчетным профилям, включающим весь сейсмопрофиль. На этих моделях, в отличие от профильных, в несколько закругленной форме показаны истинные размеры и пространственное положение структурно-тектонических элементов земной коры.

Ключевые слова: опорный сейсмопрофиль 1-СБ, Центрально-Азиатский складчатый пояс, гравитационное и магнитное поля, рельеф, геоплотностная и геомагнитная модели.

THREE-DIMENSIONAL DENSITY AND MAGNETIC MODELS ON THE FRAGMENT OF THE BASE GEOLOGICAL-GEOPHYSICAL PROFILE 1-SB

O. G. Sadur, E. Yu. Goshko

Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources, Novosibirsk, Russia

For a number of reasons, the 1-SB base geological and geophysical profile is located along the lines of highways, with the result that the profile's linearity is violated. Two models, namely geo-density and geo-magnetic, were constructed along the 800 km long profile using complex geological and geophysical data. However, their graphic perception, in view of the curvilinear profile, does not allow one to obtain a correct idea of the true dimensions and spatial position of the structural-tectonic elements of the Earth's crust. In order to eliminate these drawbacks in the 90-km-wide profile, we have obtained geo-density and geo-magnetic volume models based on the solution of direct and inverse problems simultaneously (taking into account the influence of the fields both along profiles and between profiles) by nine rectilinear design profiles including the entire seismic profile. In these models, unlike the profile ones, the true dimensions and spatial position of the structural-tectonic elements of the Earth's crust are shown in a somewhat coarse form.

Keywords: base seismic profile 1-SB, Central-Asian folded belt, gravitational and magnetic fields, relief, geo-density and geo-magnetic models.

DOI 10.20403/2078-0575-2018-3-43-53

Профиль 1-СБ (рис. 1, 2, а) располагается в пределах Центрально-Азиатского складчатого пояса, пересекая Монголо-Забайкальскую и Саяно-Байкальскую складчатые области [2, 4]. В структурно-тектоническом плане вся изучаемая площадь имеет ярко выраженную северо-восточную ориентировку, проявляющуюся удлинением в том же направлении массивами интрузивных пород, а также серией пересекающих всю площадь крупных субпараллельных тектонических нарушений (глубинных разломов). Подчеркивают северо-восточную ориентировку тектонического плана исследуемой площади и молодые (мезозойские) впадины, сопровождающие по всей длине линии глубинных разломов. Важно отметить, что южная половина профиля в пределах Монголо-Забайкальской складчатой области резко отличается от северной Саяно-Байкальской по интенсивности проявления молодой тектоники, которая фиксируется многочисленными нарушениями, определяющими мезозойские впадины и со-

ставляющими практически половину Монголо-Забайкальской области. Северная часть профиля в Саяно-Байкальской области имеет лишь единичные глубинные нарушения, а общая площадь развитых по ним мезозойских впадин почти на порядок меньше. Эти различия в интенсивности молодой тектоники северной и южной частей на этой площади имеют принципиальное значение, так как определяют интенсивность молодого рудоносного мезозойского магматизма и связанной с ним металлогении, более выраженной в южной части площади. Наиболее наглядно это видно на схематической геологической карте (с закругленными контурами возрастных образований) (см. рис. 2, б).

Геологическое строение площади определено господствующим развитием архей-протерозойского и, в меньшей степени, мезозойского магматизма.

Касаясь характеристики геологического строения площади, отраженной в потенциальных полях

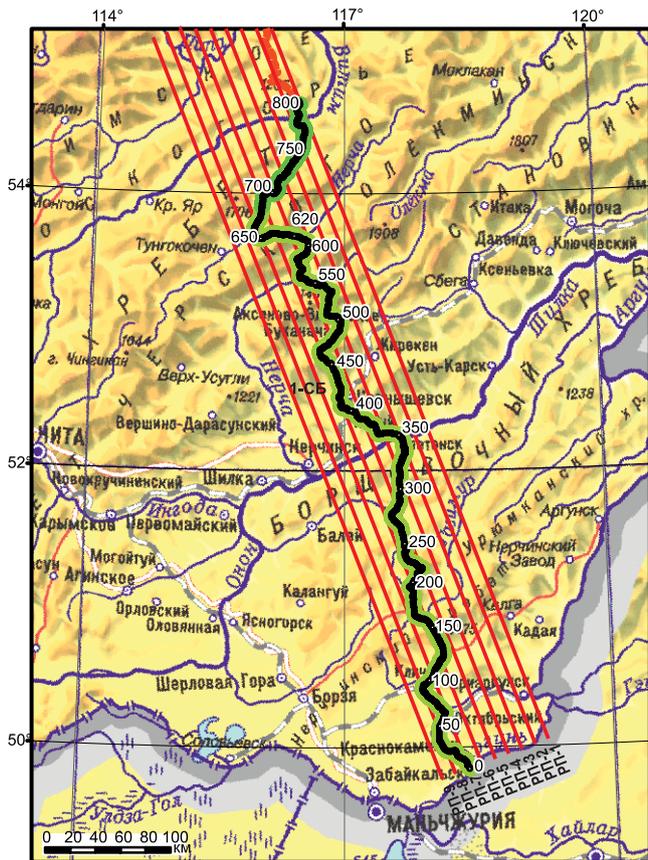


Рис. 1. Обзорная схема района работ

(рис. 3), следует отметить принципиальную разницу структуры полей ее южной и северной половин, разделенных Монголо-Охотским глубинным разломом. Монголо-Забайкальская складчатая область в сравнении Саяно-Байкальской характеризуется повышенными значениями напряженности в поле силы тяжести Δg (см. рис. 3, а) и менее дифференцированными и более низкими значениями в поле магнитных аномалий ΔT (см. рис. 3, б), что определяется, прежде всего, различным характером тектоники, магматизма и, как следствие, металлогении.

Моделирование выполнялось по авторской методике [3], которая базируется на формировании геомагнитной и/или геоплотностной модели по наблюдаемым значениям магнитного и/или гравитационного поля с учетом рельефа. Основным инструментом методики является авторская программа Geolab, с помощью которой конструируются цифровые модели полей плотности и/или намагниченности в трехмерном или двухмерном вариантах. Расчетная часть программы основана на решении двухмерных или трехмерных прямых и обратных задач грави- и магниторазведки; она объединяет формализованные процедуры подбора объектов (их формы, плотности и/или намагниченности) путем решения системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ). Содержательная часть задачи определяется полным использованием априорной геолого-геофизической информации и составлением исходной модели в нулевом приближении. Качество решения оценивается среднеквадратичной

невязкой наблюдаемого и модельного полей и вводом дополнительных ограничений в подбор самой модели: интервалы подбора возможных значений плотности (намагниченности) и глубин. В ходе решения обратных задач эти интервалы могут произвольно расширяться. Результат подбора определяется правильностью построения указанной модели, информативностью, достоверностью и точностью исходных материалов.

По линии профиля 1-СБ составлены плотностная и магнитная модели (рис. 4, б, в) с использованием комплексной геолого-геофизической модели (см. рис. 4, а). Последняя в силу вложенного в нее разного фактического материала наиболее полно повторяет конфигурацию результатов сейсмических преобразований.

Согласно комплексной геолого-геофизической модели выделяются следующие зоны земной коры: верхняя кора ВК, поверхность раннепротерозойского фундамента Ф, нижняя кора НК, поверхность переходного слоя кора – мантия ПКМ, поверхность верхней мантии (граница Мохо) М. На составленных нами плотностных моделях в пределах этих закрепленных границ рассчитаны плотностные и магнитные характеристики геологической среды разреза. Выделенные структурно-тектонические зоны несколько различаются между собой по плотности одних и тех же слоев земной коры, что отражается на положении в разрезе и конфигурации изолиний плотности и намагниченности. Повышенными характеристиками плотности и намагниченности в верхней части разреза и пониженными расчетными плотностями выделяется Пришилкинская зона смятия, отвечающая месту сочленения двух структур первого порядка: Монголо-Забайкальской и Саяно-Байкальской складчатых областей. Особенностью ее структурной позиции является положение над деструктивной зоной (зоной разуплотнения) верхне-мантийного слоя на интервале профиля 370–430 км. Представляется, что повышенная плотность связана с воздействием мантийных магматических флюидов в деструктивной области.

Опорный сейсмический профиль 1-СБ общей протяженностью 800 км не является прямолинейным. Как видно из рис. 1, 2, его положение в плане напоминает гармошку, а проекция на прямой отрезок составляет всего лишь 550 км. Поэтому составленная комплексная геолого-геофизическая модель по 800-километровому сейсмическому профилю 1-СБ не в полной мере отражает положение структурно-тектонических элементов земной коры на местности. Искажение структур определяется не только углом встречи профиля с осевыми линиями структур, но и их пространственным положением относительно линии профиля.

Для того чтобы ликвидировать эти недостатки, нами было выполнено трехмерное моделирование по девяти прямолинейным расчетным профилям, на площади которых располагается сейсмопрофиль

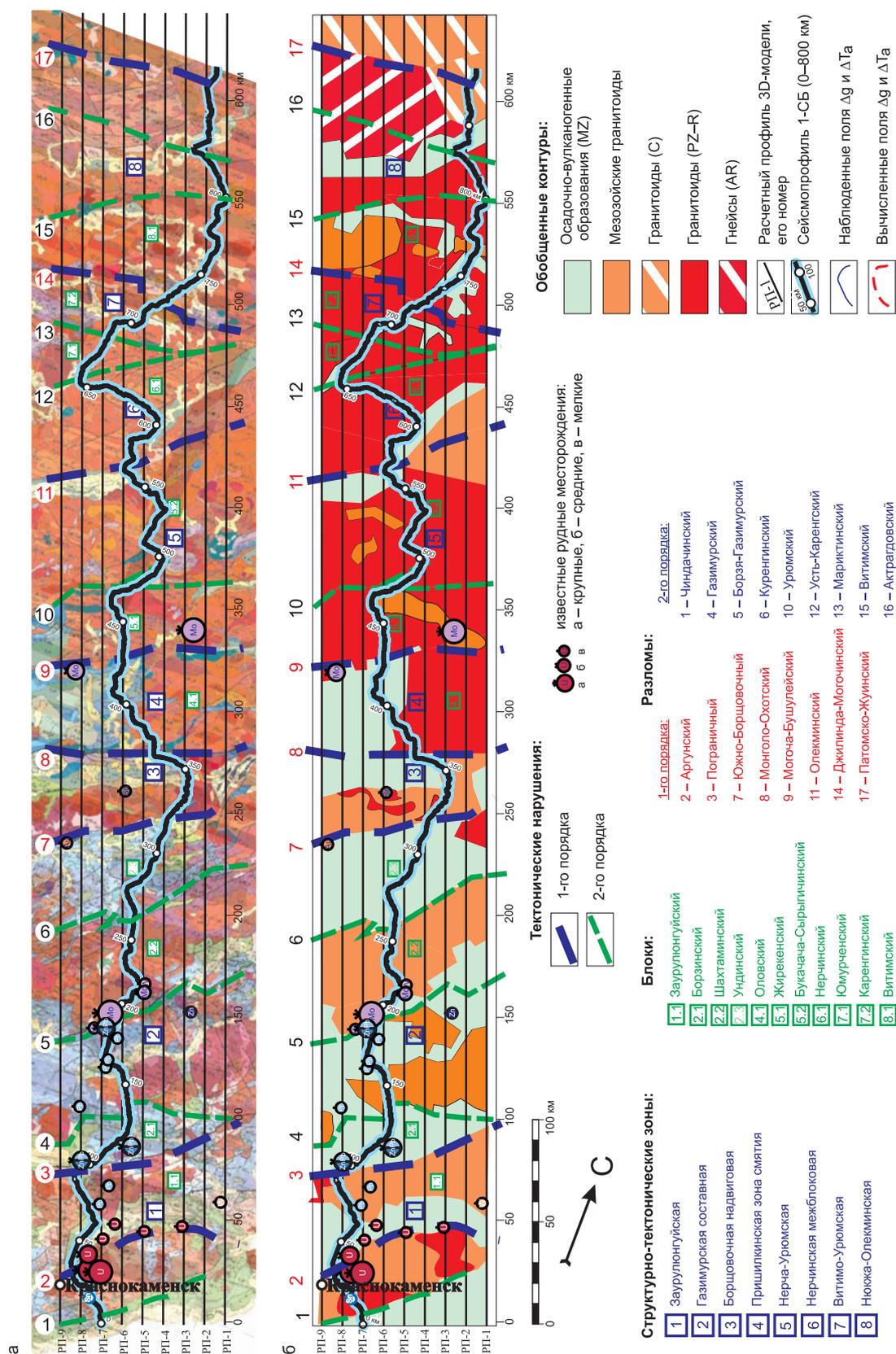


Рис. 2. Расположение опорного геолого-геофизического профиля 1-СБ, расчетных профилей трехмерной модели и структурно-тектонических блоков: а – на фрагменте геологической карты, б – на схематической геологической карте (с заглубленными контурами возрастными образованиями)

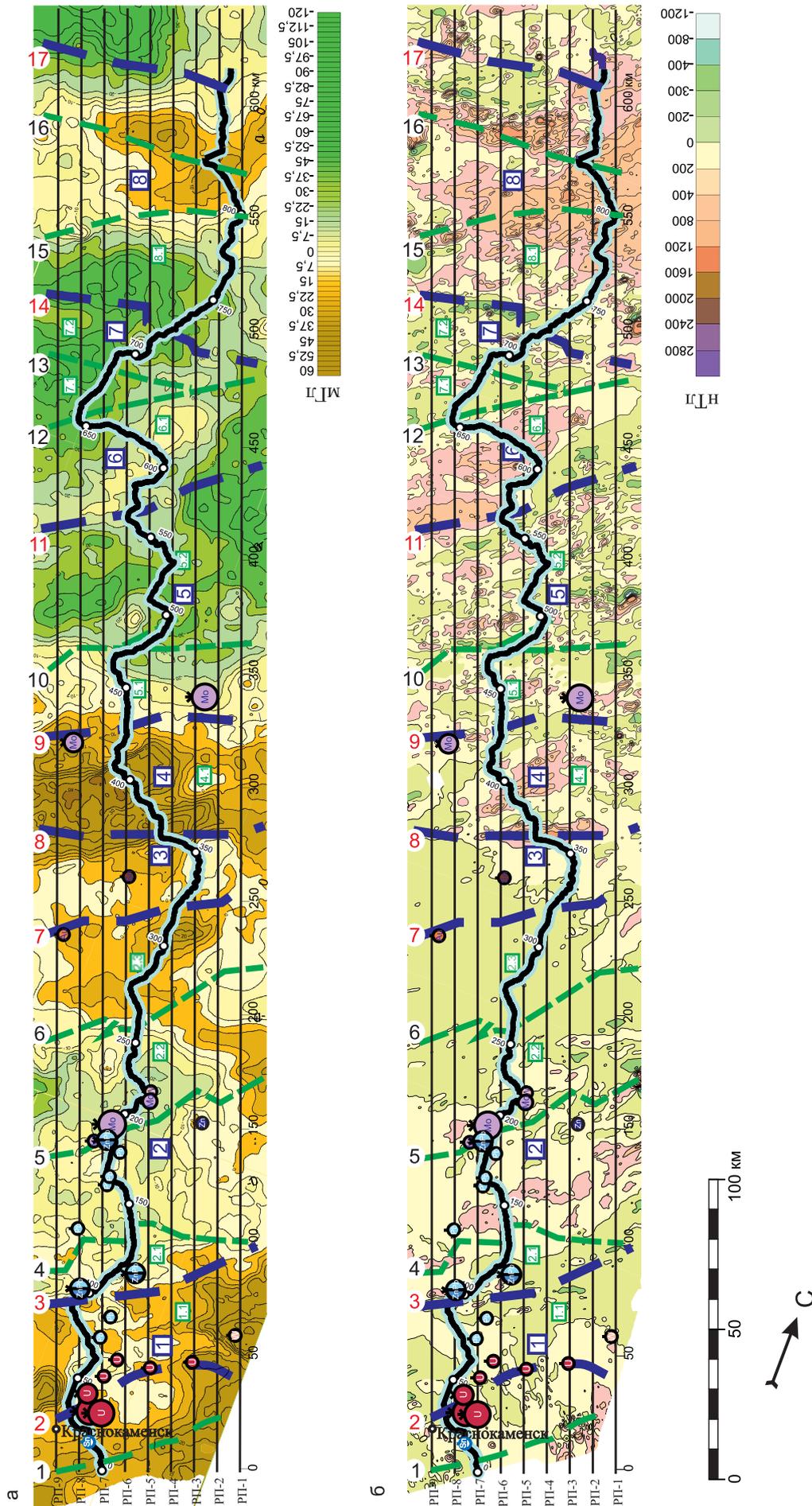


Рис. 3. Расположение опорного геолого-геофизического профиля 1-СБ, расчетных профилей трехмерной модели и структурно-тектонических блоков на картах: а – поля силы тяжести Δg , б – магнитных аномалий ΔT_a
Усл. обозн. см. на рис. 2

СЗ

ЦЕНТРАЛЬНО-АЗИАТСКИЙ СКЛАДЧАТЫЙ ПОЯС

ЮВ

а МОНГОЛО-ЗАБАЙКАЛЬСКАЯ СКЛАДЧАТАЯ ОБЛАСТЬ

САЯНО-ЗАБАЙКАЛЬСКАЯ СКЛАДЧАТАЯ ОБЛАСТЬ

Аргунская складчатая система

Агинско-Борщовочная мобильная складчатая система

Западно-Становая складчатая система

Селенгино-Яблоновая складчатая система

Завулонгуйская зона

Газимурская зона

Борщовочная зона

Пришилькинская межблоковая зона смятия

Нерча-Урюмская зона

Нерчинская межблоковая зона

Витимо-Урюмская зона

Нюкжа-Олекминская зона

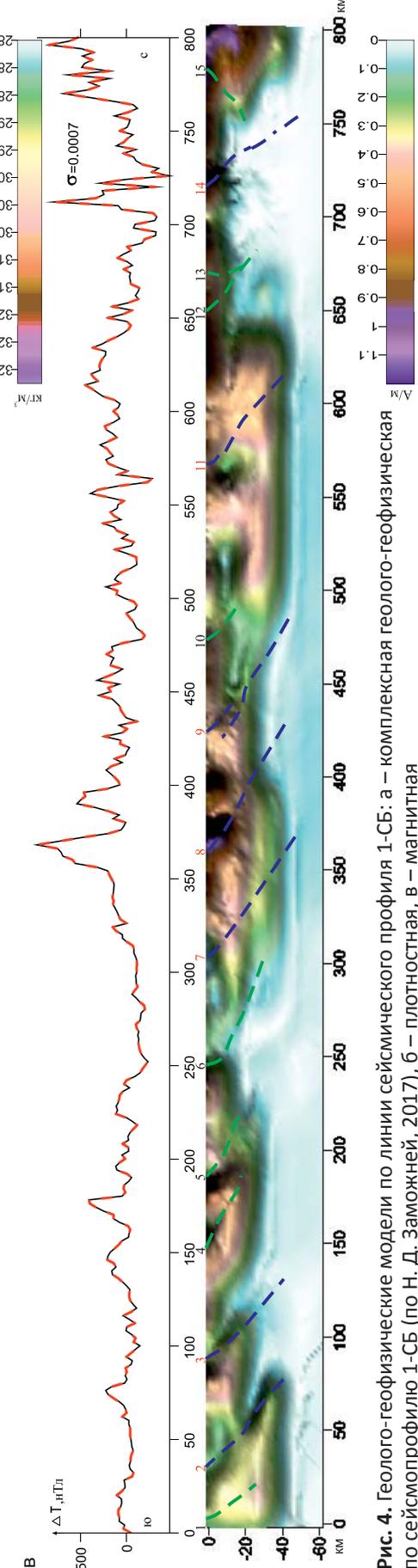
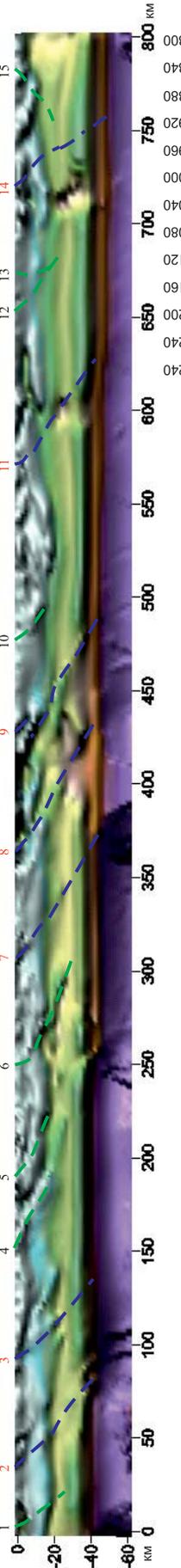
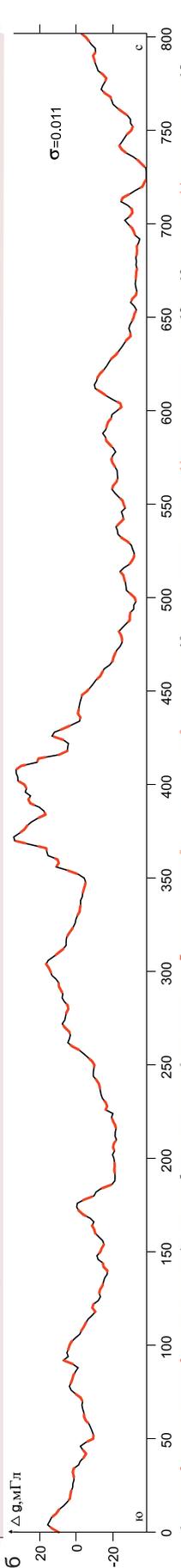
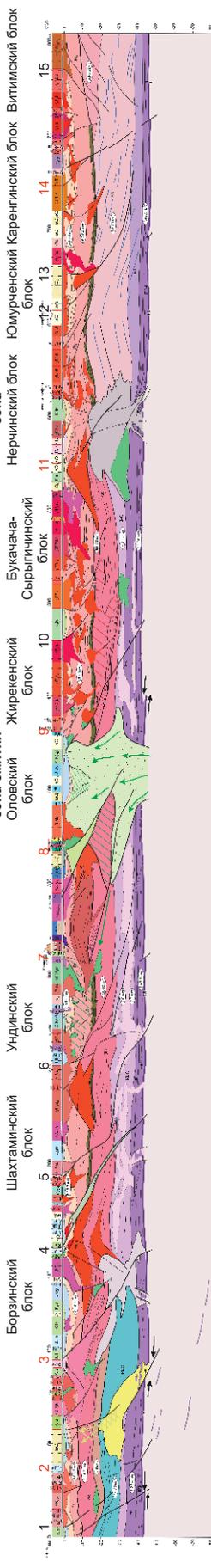


Рис. 4. Геолого-геофизические модели по линии сейсмического профиля 1-СБ: а – комплексная геолого-геофизическая по сейсмопрофилю 1-СБ (по Н. Д. Заможней, 2017), б – плотностная, в – магнитная

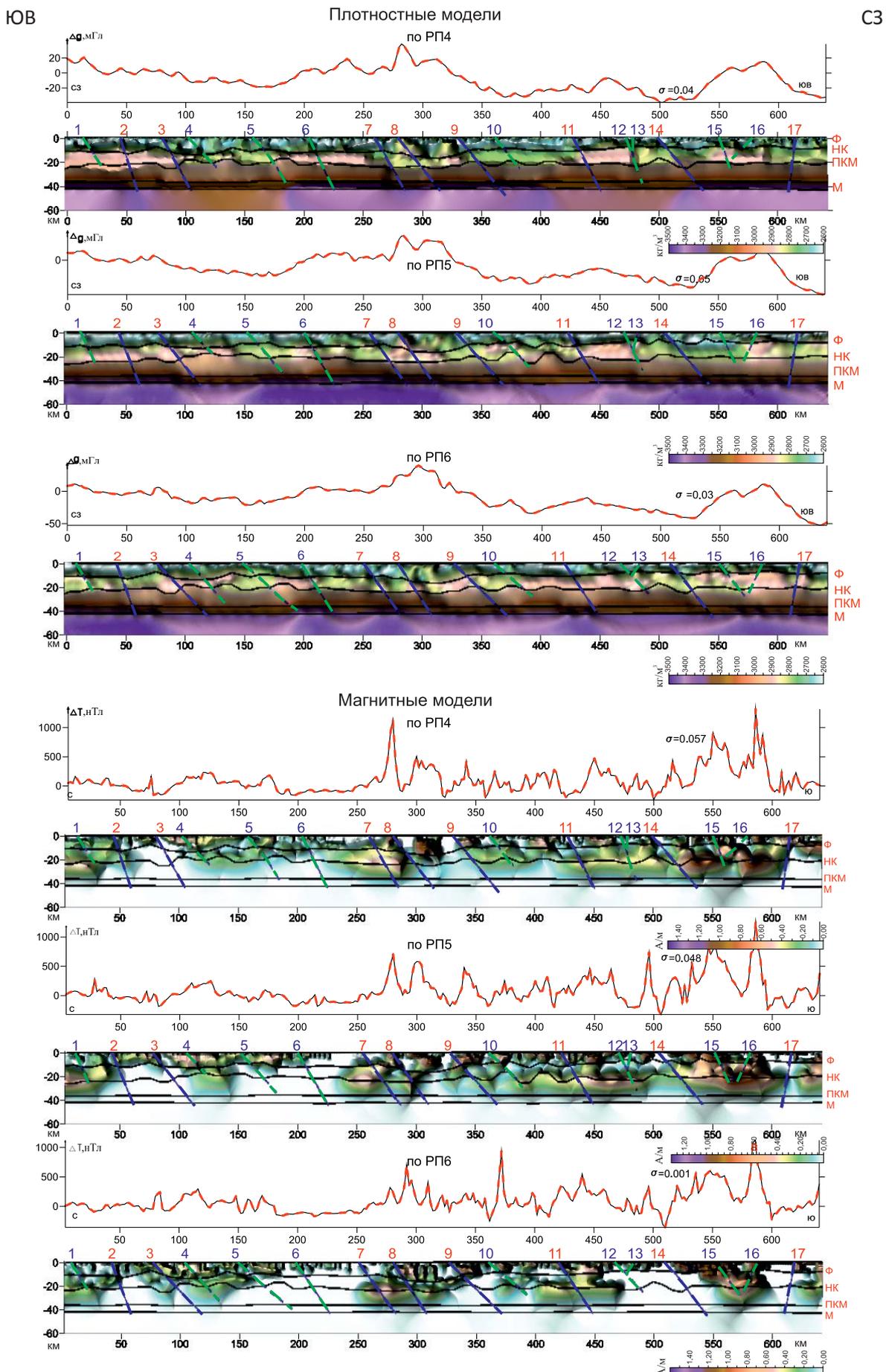


Рис. 5. Модели по расчетным профилям (трехмерное моделирование)

Усл. обозн. см. на рис. 2



1-СБ. Разумеется, моделирование с использованием потенциальных полей носит лишь вероятностный характер и не дает такой точности и детальности, как сейсморазведка, но тем не менее структуры, показанные на рис. 5, 6, более правдоподобны чем те, которые приведены на рис. 4.

В задачу объемного моделирования входило получение распределения расчетных полей плотности и намагниченности в пространстве, ограниченном положением расчетных профилей, а также прослеживание пространственного изменения геометрических параметров известных тектонических структур (зон, блоков).

Плотностные и магнитные модели были построены по девяти расчетным профилям с шагом 2×10 км, что соответствует м-бу 1:1 000 000 (три из них показаны на рис. 5), и по пяти границам раздела земной коры (рис. 6, 7), а пространственное изменение геометрических параметров известных тектонических структур определялось на базе использования вертикальных, горизонтальных и полных градиентов полей плотности и намагниченности.

Полученные модели характеризуют изменение плотностных и магнитных свойств геологической среды в плоскости разрезов по латерали и вертикали и, в соответствии с морфологическими особенностями полей плотности и намагниченности, позволяют расчленить земную кору на слои и блоки. По плотностным характеристикам выделяются ВК, Ф и НК, ПКМ и М. Магнитная модель, в отличие от плотностной, из-за высоких температур в нижней части земной коры теряет намагниченность вследствие чего в поле намагниченности, глубинные геологические структуры (свыше 25–30 км) не отражаются.

Пространственное изменение геометрических параметров основных структурно-тектонических элементов разреза (тектонических зон, блоков), границами которых в основном являются линии дизъюнктивных нарушений, определялось в два этапа: 1) поверхностная часть – на основе их переноса с геологической карты (с учетом их отражения в поле силы тяжести и аномальном магнитном поле) на поверхность рельефа, 2) глубинная часть – с использованием вертикальных, горизонтальных и полных градиентов полей плотности и намагниченности, первоначально по разрезам, а затем по погоризонтным планам, которые затем увязывались между собой в местах их пересечений. На этой основе выделено 17 тектонических нарушений. Разломы, дошедшие до мантии, определены нами как нарушения первого порядка (Аргунский, Пограничный, Южно-Борщовочный, Монголо-Охотский, Могоча-Бушулейский, Олекминский, Джилинда-Могочинский и Патомско-Жуинский). К разломам второго порядка относятся Чиндачинский, Газимурский, Борзя-Газимурский, Куренгинский, Урюмский, Усть-Каренгский, Мариктинский, Витимский и Актрагдовский.

Выделенный по сейсмическим данным [1] разрыв земной коры в районе ПК 300 км на плотностных и магнитных разрезах (см. рис. 5) отмечается в виде двух высокоплотностных и высокомагнитных субвертикальных конструкций, начинающихся от нижней коры и заканчиваются на поверхности. Нижняя часть мантийного тела на рис. 5 в явном виде не отображается из-за незначительного перепада значений плотностей (в пределах 100 кг/м^3) в слоях М и ПКМ, зато достаточно четко видна на погоризонтных планах и блок-диаграммах (см. рис. 6, 7). Плотностные и магнитные модели по границам раздела земной коры – это элементы конструкции трехмерной модели. Снизу вверх выделено пять границ раздела.

Мантия (см. рис. 6) в отличие от коры в плотностной модели характеризуется повышенной плотностью ($3270\text{--}3400 \text{ кг/м}^3$ и более) и наличием разнотелостных блоков: три более (до 3400 кг/м^3) и два менее (до 3300 кг/м^3) плотных.

Рельеф поверхности Мохо колеблется в небольших пределах: от $-40,7$ до $-42,7$ км (см. рис. 6, 7). В центральной части площади, между Монголо-Охотским и Могоча-Бушулейским разломами наблюдается зона смятия в результате надвигания Саяно-Байкальской складчатой системы на Монголо-Забайкальскую. Результат этого надвига определяется отрицательной структурой рельефа глубиной около 0,6 км с пониженной плотностью до 3320 кг/м^3 . С южной стороны структура ограничена дуговым валом (амплитудой около 1 км) с породами повышенной плотности (до 3400 кг/м^3). По сейсмическим данным она является магматическим очагом, внедрившимся в земную кору (см. рис. 4). По-видимому, имеющиеся мелкие кольцеобразные структуры с пониженной плотностью – это флюидонасыщенные породы, способствующие, благодаря «нижнему» давлению, проникновению и подъему магмы в верхние слои земной коры.

Переходная зона кора – мантия выделяется высокоградиентной полосой расчетных плотностей от 3100 до 3200 кг/м^3 и имеет более выдержанную амплитуду рельефа – от $36,05$ до $34,95$ км. В поле намагниченности она не выделяется. В центральной части площади, между Монголо-Охотским и Могоча-Бушулейским разломами, фиксируются отрицательная структура рельефа и локальные структуры пониженной плотности, возникшие, по-видимому, за счет горизонтального воздействия механических сил. Они образуют дугу вокруг холмообразной структуры с повышенной плотностью (3200 кг/м^3). С западной стороны эта отрицательная структура контролируется возвышенностью с повышенной плотностью (типа увала).

Нижняя кора представлена гранулит-базитовым слоем, мощность которого сравнительно выдержана по всей длине профиля и составляет 10–15 км. Особенность его – плавное изменение расчетной плотности от 2950 до $3100\text{--}3150 \text{ кг/м}^3$.

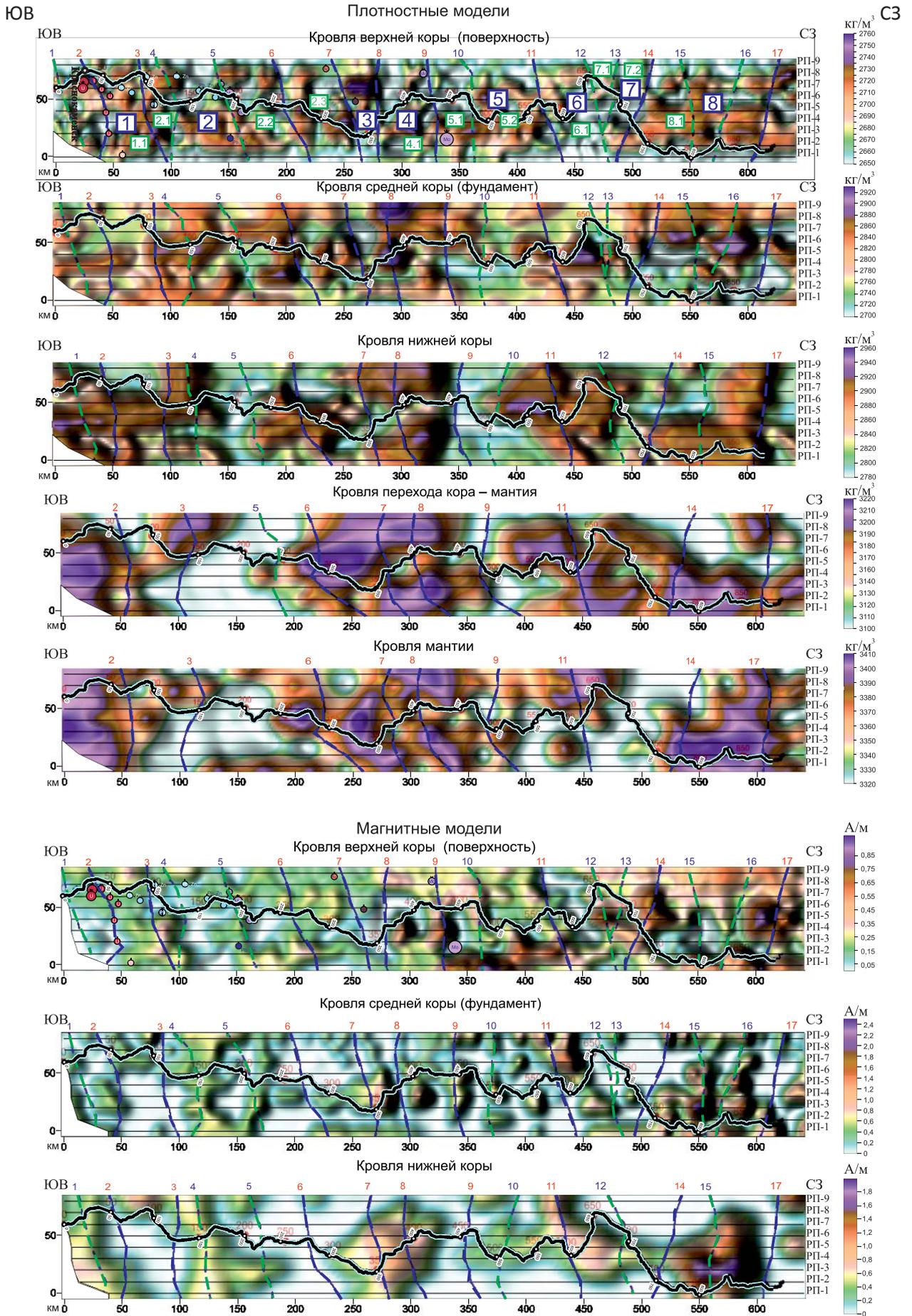


Рис. 6. Плотностные и магнитные модели по границам раздела земной коры
Усл. обозн. см. на рис. 2

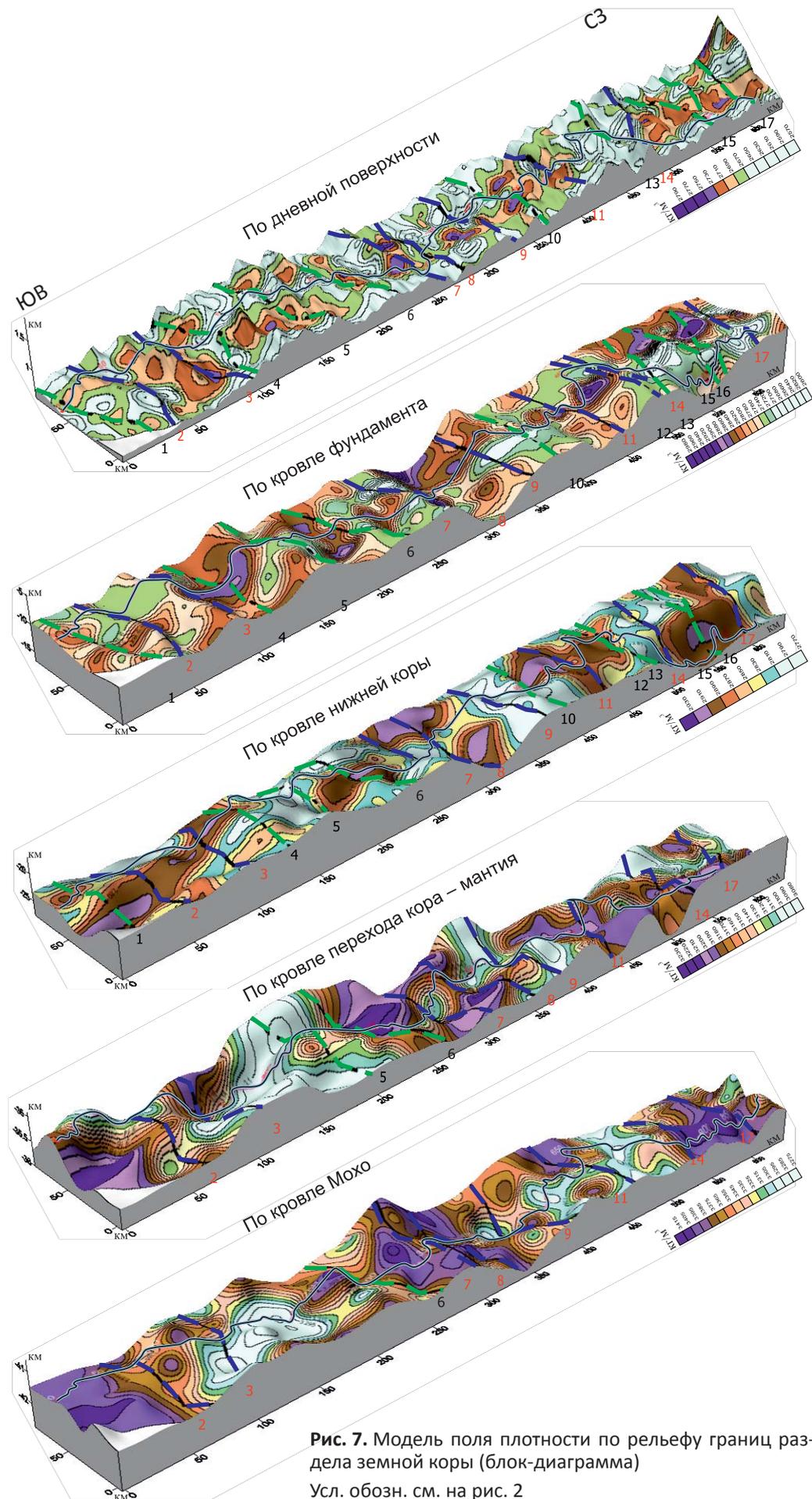


Рис. 7. Модель поля плотности по рельефу границ раздела земной коры (блок-диаграмма)
Усл. обозн. см. на рис. 2



Расчетная намагниченность, как и в средней коре, фрагментарно выражена в его верхней части. Магматический очаг, внедрившись в нижнюю кору, в процессе дифференциации начинает распадаться, образуя три высокоплотных (2910 кг/м^3) блока, а понижение в рельефе (ПК 300 км) заполнено высокоплотными породами.

Средняя кора представлена амфиболитовым комплексом с заметно повышенной (от 2750–2900 до 2950 кг/м^3) плотностью относительно вышележащего гранитогнейсового слоя. Как и для гранитогнейсового комплекса, для амфиболитового характерна пологая, субгоризонтальная структура с чередующимися валлообразными, типа стиральной доски (от –3 до –18,5 км) поднятиями и впадинами. Расчетная намагниченность в меньшей степени отражает структурно тектонические элементы, выделяются локальные аномальные участки напряженностью до 1,0 А/м. Структура обоих полей имеет преимущественно северо-восточную ориентировку осей аномалий.

Граница соприкосновения двух складчатых систем отмечается продольной впадиной (глубиной более 5 км) с направлением оси на северо-восток. С обеих сторон впадина окаймляется высокоамплитудными валами (3–4 км), более широкими (около 100 км) с северной стороны и более узкими (около 50 км) – с южной. Юго-западный склон впадины сложен высокоплотными породами (более 2900 кг/м^3).

Верхняя кора, включающая гранитогнейсовый слой и структурно-тектонические депрессии, заполненные вулканогенно-осадочными образованиями, характеризуется наиболее низкими значениями плотности ($2550\text{--}2720 \text{ кг/м}^3$) и намагниченности (0–0,5 А/м), только в Пришилкинской зоне смятия они выше (до 2925 кг/м^3 и до 1,0–1,15 А/м соответственно). Мощность верхней коры непостоянна – от 8 до 12 км, максимальна (13–18 км) она в Пришилкинской зоне смятия. Структура обоих полей меняется по границе Монголо-Охотского разлома, которая является и границей раздела Монголо-Забайкальской и Саяно-Байкальской складчатых областей. Границы тектонических зон и блоков, вынесенные с геологической карты на планы полей плотности и намагниченности, не противоречат структуре этих полей плотности и намагниченности.

Моделирование не дало прямых поисковых признаков выявления полезных ископаемых на изучаемой площади с использованием материалов съемок м-ба 1:200 000 и ранее разработанных критериев (наличие внедрения мантии в земную кору, приуроченность всех известных месторождений (см. рис. 2) к мезозойским гранитоидам, системам разломов). Однако следует отметить, что начиная от поверхности Мохо вплоть до кровли фундамента и от ПК 0 км до ПК 200 км на плотностной модели (см. рис. 6, 7) выделяется высокоплотная линейная структура северо-западного направления, секущая основное направление структур и вмеща-

ющая около 70 % всех известных на этой площади месторождений.

Таким образом, на основе трехмерного моделирования были выделены структурно-тектонические блоки первого и второго порядков. Показано изменение их пространственных параметров с глубиной в полях плотности и намагниченности. В отдельную структурную единицу нами выделен Заурюльгунгуйский «рудоносный» блок, с южной стороны которого расположены урановые месторождения, приуроченные к Аргунскому разлому, а с северной – полиметаллические месторождения, приуроченные к Пограничному разлому.

Закартирована линейная высокоплотностная секущая структура, формирующаяся от мантийного слоя и ограничивающая почти 70 % всех известных на исследуемой площади месторождений.

Показано глубинное строение зоны сочленения Монголо-Забайкальской и Саяно-Байкальской складчатых областей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Государственная** геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Лист М-50 – Борзя: объяснительная записка / Е. А. Шивохин, А. Ф. Озерский, Н. А. Артамонова и др. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2010. – 553 с.

2. **Государственная** геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Алдано-Забайкальская. Лист N-50 – Сретенск: объяснительная записка / С. А. Козлов, С. А. Новченко, Г. И. Богач и др. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2010. – 377 с.

3. **Гошко Е. Ю., Жабин В. В., Сальников А. С.** Строение земной коры в зоне сочленения Алдано-Станового щита и Саяно-Байкальской складчатой области вдоль линии опорного профиля 1-СБ // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России: матер. VIII Всерос. науч.-практ. конф. В 2 т. Т. 2. – Якутск: Изд-во Ин-та мерзлотоведения им. П. И. Мельникова СО РАН, 2008. – С. 52–55.

4. **Садур О. Г.** Моделирование геологических сред на основе вычисления их плотности и магнитных характеристик в классе сложного распределения масс при решении различных геологических задач // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2012. – № 1(9). – С. 96–101.

REFERENCES

1. Shivokhin E.A., Ozerskiy A.F., et al. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii. Masshtab 1: 1 000 000 (tret'e pokolenie). List M-50 – Borzya. Ob'yasnitel'naya zapiska* [State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1: 1000 000 (third generation). Sheet M-50 – Borzya. Explanatory note]. Saint Petersburg, VSEGEI Publ., 2010. 553 p. + 6 incls. (In Russ.).

2. Kozlov S.A., Novchenko S.A., Bogach G.I., et al. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii. Masshtab 1: 1 000 000 (tret'e pokolenie).*



Seriya Aldano-Zabaykal'skaya. List N-50 – Sretensk. Ob'yasnitel'naya zapiska [State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1: 1000 000 (third generation). Aldan-Transbaikal Series. Sheet N-50 – Sretensk. Explanatory note]. Saint Petersburg, VSEGEI Publ., 2010. 377 p. (In Russ.).

3. Goshko E. Yu., Zhabin V.V., Salnikov A.S. [The structure of the Earth's crust in the junction area of the Aldan-Stanovoi Shield and the Sayan-Baikal folded region along the base profile 1-SB] *Geologiya i mineral'no-syr'evye resursy Severo-Vostoka Rossii: materialy VIII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy*

konferentsii, 18–20 aprelya 2018 g. v 2 t. [Geology and Mineral Resources of the Northeast of Russia: Proceedings of the VIII All-Russian Scientific and Practical Conference, April 18–20, 2018, in 2 volumes]. Yakutsk, Melnikov Permafrost Institute SB RAS Publ., 2008, vol. 2, pp. 52–55. (In Russ.).

4. Sadur O.G. [Modelling of geological environments based on calculation of their density and magnetization in class of complex mass distribution for various geological problems]. *Geologiya i mineral'no-syr'evye resursy Sibiri – Geology and mineral resources of Siberia*, 2012, no. 1(9), pp. 96–101. (In Russ.).

© О. Г. Садур, Е. Ю. Гошко, 2018