

УДК 550 372

ПОСТРОЕНИЕ ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ 3D МОДЕЛЕЙ МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКИХ И ОЧАГОВЫХ ЗОН АЛТАЕ- САЯНСКОГО РЕГИОНА

Белявский В. В.

(ЦГЭМИ РАН ИФЗ им. О. Ю. Шмидта, г. Троицк, Россия)

Показано, що 3D інверсія магнітотелуричних даних дозволяє побудувати геоелектричні моделі осередкових і металогенічних зон, оцінити їхній зв'язок з сейсмічністю і мінерагенією регіону.

It is shown, that 3D inversions MTZ data allows to construct geoelectric models of the centers of earthquakes and metals zones to estimate the maintenance of a fluid in domains and their communication with seismicity and minerals region.

Разработка методики 3D инверсии магнитотеллурических данных и построение глубинных геоэлектрических моделей, направлено на решение задач минерагенического прогноза руд гидротермального происхождения, благородных металлов и оценки сейсмической опасности складчатых регионов. Эти задачи упираются в необходимость выделять ослабленные в прошлом и настоящем блоки коры и верхней мантии, оценивать их флюидонасыщенность в трехмерных геоэлектрических ситуациях, когда отсутствуют программы трехмерной инверсии сложных неоднородных сред. Объем площадных магнитотеллурических наблюдений ограничен, поэтому проводится 3D инверсия экспериментальных кривых МТЗ по профильным МТ данным. Для получения 3D модели адекватной реалистичной, необходимо задать стартовую модель наиболее отвечающую ей.

Целью настоящей статьи является показать на примере Алтае-Саянского региона, как аппарат трехмерного математического моделирования позволяет строить 3D геоэлектрические модели, определять параметры разломов и их связь с месторождениями полезных ископаемых и очагами землетрясений.

1. Этапы построения трехмерных геоэлектрических моделей

1. Анализ матрицы импеданса, оценка размерности верхнего и нижнего структурных этажей. Проверка выполнения дисперсионных соотношений.

2. Снятие влияния неоднородностей верхней части разреза на кривые МТЗ при определении параметров нижней части путем их нормализации.

3. 1D инверсия нормализованных кривых: ρ_{xy} и ρ_{yx} ориентированных по осям X и Y , максимальных $\rho^{\max H}$, минимальных $\rho^{\min H}$ [6] и фазового тензора ρ^{faz2} [7] при построении стартовых разрезов. Определение наиболее информативных типов кривых МТЗ, оценка их разрешающей способности при выделении проницаемых зон коры на фоне неоднородностей верхнего структурного этажа.

4. Построение 3D модели методом подбора 3D модельных амплитудных и фазовых кривых МТЗ к экспериментальным, с учетом изменения ориентации последних и параметров асимметрии матрицы импеданса. Решение обратной задачи должно удовлетворять с одной стороны погрешностям экспериментальных данных (5 % для Z_{xy} и Z_{yx}), а с другой стороны требованиям задачи (хотя бы в ограниченном диапазоне частот).

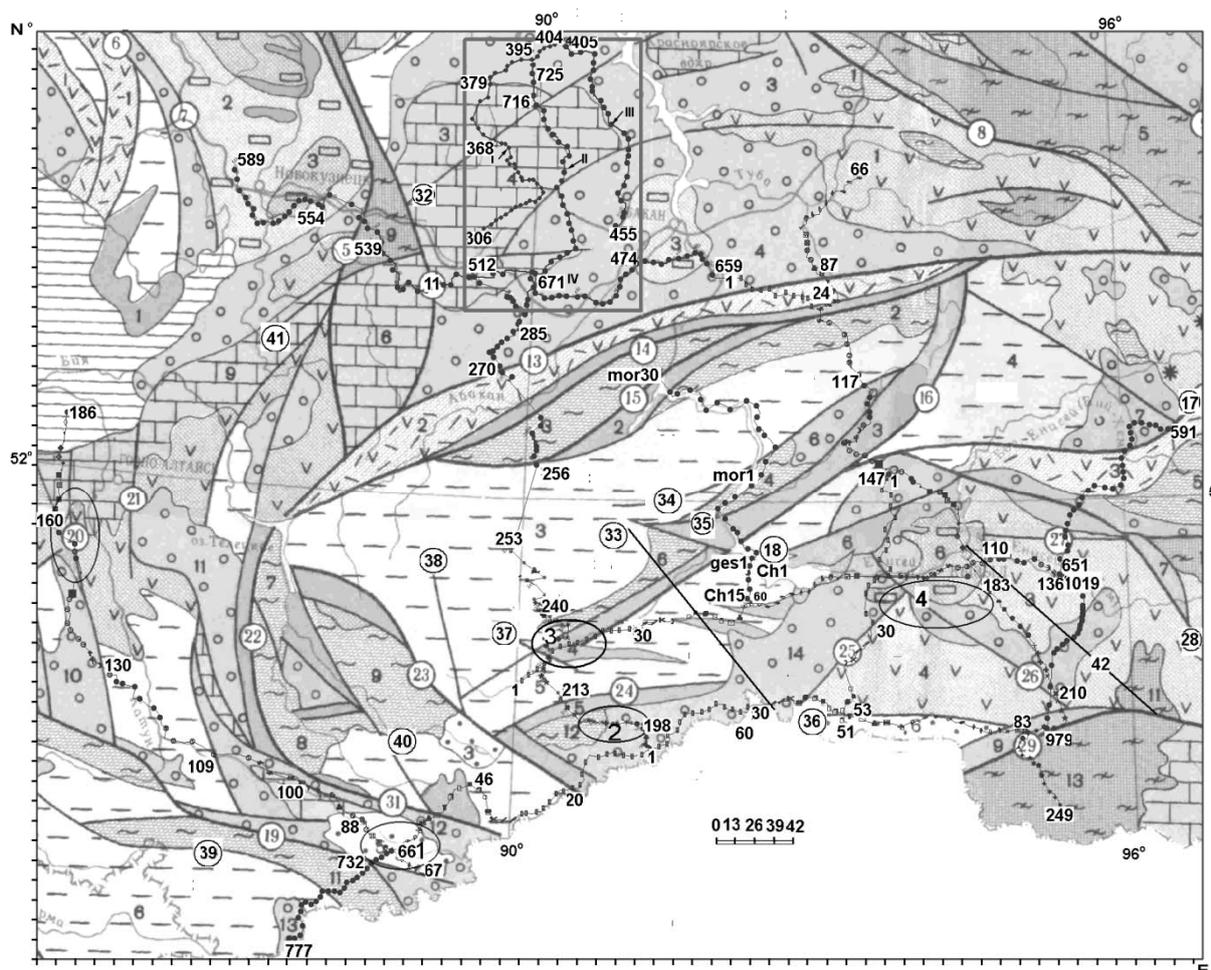
5. Согласование границ проводящих доменов, скоростей продольных волн V_p , зон повышенного поглощения сейсмических волн в методах МОВЗ - ГСЗ.

2. Краткий геологический очерк участков работ

В пределах отрогов Кузнецкого Алатау и Минусинской котловины, разделенной хребтами Батеневского кряжа (рис. 1, верхний прямоугольник), выполнены площадные наблюдения по четырём профилям МТЗ. Характерной чертой участка работ является наличие на нем глубинных разломов северо-восточного и северо-западного направлений, которые играют ведущую роль в

рудоформировании, они обрамлены трещинами различной направленности, обширными зонами дроблениями, что способствовало протеканию гидротермального процесса.

Неотектоническая (с кайнозоя) активизация проявляется в усилении вертикальных движений до 0,3-0,4 мм/год во впадинах и до 0,5-0,6 мм/год на поднятиях.



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

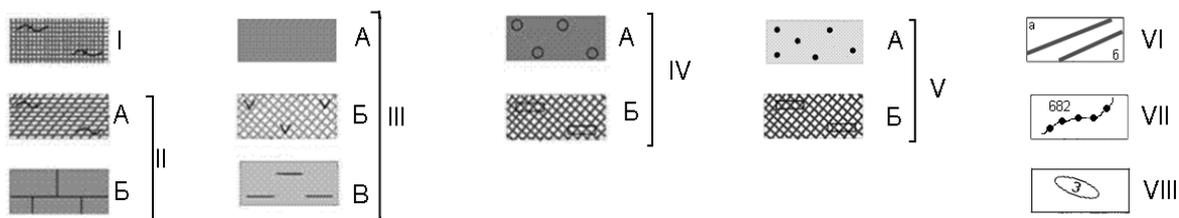


Рис. 1. Расположение профилей МТЗ на схеме структурно-геологического районирования Алтае-Саянского региона Матросов П. С., 1988 г [4]

Условные обозначения: I – раннепротерозойские гнейсо-сланцевые и гнейсо-сланцево-карбонатные выступы основания. II – СФЗ поздних протерозоид: А – зеленосланцевые выступы байкалит, Б – терригенно-кремнисто-карбонатные чехлы массивов. III – СФЗ каледонид: А – раннекаледонские эвгеосинклинальные с офиолитовыми ассоциациями, Б – эвгеосинклинального типа с базальто-андезитовыми. IV – СФЗ орогенной стадии каледонид: А – раннеорогенные вулканогенно-молассоидные, Б – позднеорогенные молассоидные угленосные. V – мезозойские (посторогенной активизации): А – кайнозойские молассоидные, Б – юрские молассоидные угленосные. VI – Каркасные разломы (в кружках): 11 – Балысинский, 13 – Саяно-Минусинский, 14 – Саяно-Батеневский, 16 – Хемчинско-Куртушибинский, 19 – Башеланский, 22 – Прителецкий, 23 – Шапшальский, 24 – Шуйский, 31 – Курайский, 32 – Сардино – Сорский, 37 – Барлыкский, 38 – Восточно-Шапталский, 39 – Южно-Теректинский, 40 – Чулышманский. VII – точки МТЗ и их номера. VIII – очаговые зоны землетрясений: 1 – Алтайская, 2 – Шапшальская, 3 – Тээлинская, 4 – Шагонарская. Сверху показан участок работ МТЗ в Кузнецком Алатау.

Кристаллический фундамент в Минусинских впадинах залегает на глубине 8-9 км, концентрация солей калия в рассолах Южно-Минусинской впадины достигает 255 г/кг, а гелия во впадинах – 0,3 – 1,6 %. Это свидетельствует о мантийной глубине заложения разломов [4, 8].

Юго-западный участок работ расположен в пределах горст-грабеновых структур Курайско-Чуйской впадины. Он ограничен активизированными глубинными разломами (рис. 1): Курайским северо-западного направления (северо-восточный борт) и параллельного ему Южно-Теректинским и Башеланским (юго-западный борт). Это разломы сжатия. Скорость поднятия бортов впадины по ним составляет 1,2 мм/г, а опускание идет со скоростью 0,3 – 0,4 мм/г. Основное количество эпицентров землетрясений приурочено к северо-западному борту впадины, северной и центральной ее частям.

Юго-восточный участок работ МТЗ находится в пределах опускающегося (около 0,4 мм/год) западного борта Убусунурской

впадины и воздымающихся структур Алтая со скоростью 0,8 – 1,0 мм/год, которые разделяет Шапшальский глубинный разлом северо-западного простирания. Вторая система разломов (Барлыкский и Каргинский) имеет запад-северо-западное направление. Это зона сочленения Тувинской складчатой зоны, Шапшальского разлома и Хемчинского прогиба. Наиболее активными здесь являются субширотные блоки [8].

3. Геоэлектрические модели рудных зон Кузнецкого Алатау

По результатам 1D инверсии - $\rho(H)$ максимальных кривых $\rho_{\max}H$, нормализованных кривых $\rho_{\max}H - \rho_{\max}HN$ и максимальных кривых фазового тензора $\rho_{\text{faz}2}$ построены геоэлектрические разрезы, из которых сгруппировались стартовые 3D модели. Полученная в результате 3D инверсии кривых $\rho_{\max}H$ и $\rho_{\min}H$, 3D модель Батеневского массива и Минусинских впадин представлена на рисунке 2, а ее сечения – на рисунке 3 для т.н.: а - 4-194 (пр. I), б - 6-196 (пр. II), в – т.н. 9-199 (пр. III), г – т.н. 34-40.

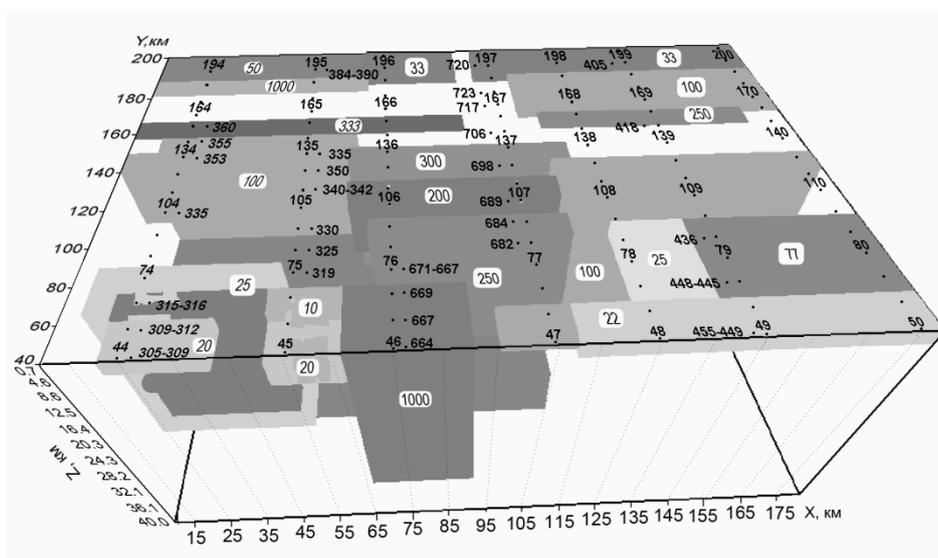


Рис. 2. Геоэлектрическая модель Батеневского массива и Минусинских впадин. Точки расчета МТ полей: 44–194, 45-195, 46–196, 47–197, 49-199 и соответствующие экспериментальные МТЗ: 305-360, 391-390, 664–671, 682–720, 455–405. На блоках - их УЭС. Ось Y (север), X – (восток)

Профиль I (МТЗ 305 - 395) пересекает западную часть Батеневско-го массива (рис. 1 - рис. 2). Его южная граница протягивается вдоль Саяно-Батеневский разлома, что является причиной низких УЭС на глубинах от 1 до 10 км в тт. 316–326, т.н. 55-65 и т.н. 54-64 (рис. 3, а).

Активизированные разломы северо-западного простирания с амплитудой вертикальных смещений (с кайнозойского времени) до 0,84 мм/год проявляются блоком с $\rho = 10$ Омм под т.н. 64-74 на глубинах свыше 10 км (МТЗ 328-332). Металлогеническая зона пересекается МТЗ 350-355, в модели она представлена протяженным до глубины 10-20 км разломом с $\rho = 100$ Омм под т.н. 124-125. Сардино-Сорский разлом (МТЗ 360-362) выделяется под т.н. 145-144 с $\rho = 300-350$ Омм. Под ним и севернее на глубине свыше 10 км расположен проводник. Северо-Минусинская впадина (МТЗ 388 - 403) представлена в 3D модели двумя низкоомными блоками: с $\rho = 100$ Омм, подстилаемым вставкой мощностью 2 км с $\rho = 20-25$ Омм и с $\rho = 25 - 60$ Омм под т.н. 184–185 и 194-195.

На профиле II (МТЗ 670 - 727) Саяно-Батеневский разлом (МТЗ 679–682 и 684-689) на 3D модели представлен двумя проводящими блоками с $\rho = 100 - 140$ Омм под т.н. 86-87 и т.н. 106-107, протягивающимися до глубины 20-30 км (рис. 3,б). Их скорость подъема достигает 0,48 мм/год, а опускания соседнего блока в Садо-Ербинская впадине 0,18 мм/год. Разлом, отделяющий Батеневский выступ от Южно-Минусинской впадины, находит свое продолжение в теле Батеневского массива в виде блока с $\rho = 300-400$ Омм под т.н. 126-127 (МТЗ 694-698 и 698-700). Скорость подъема массива составляет 0,36 мм/год. Металлогеническая зона под МТЗ 703-711 выделяется в 3D модели блоком с $\rho = 200$ Омм (т.н. 167 и 146). К этой же зоне приурочены гипоцентры землетрясений с $M = 3 - 3,5$.

На профиле III (МТЗ 396-455) значениями с $\rho = 100$ Омм выделяется под т.н. 118-119 металлогеническая зона (МТЗ 432-429), протягивающаяся до глубины 30 км (рис. 3, в). Зона разлома под МТЗ 426 - 422, вблизи которого зарегистрированы землетрясения с $M > 3,5-4$, аппроксимируется блоком с $\rho = 200-250$ Омм

(т.н. 148 - 149). Они имеют амплитуду вертикального перемещения до 0,6- 0,7 мм/год.

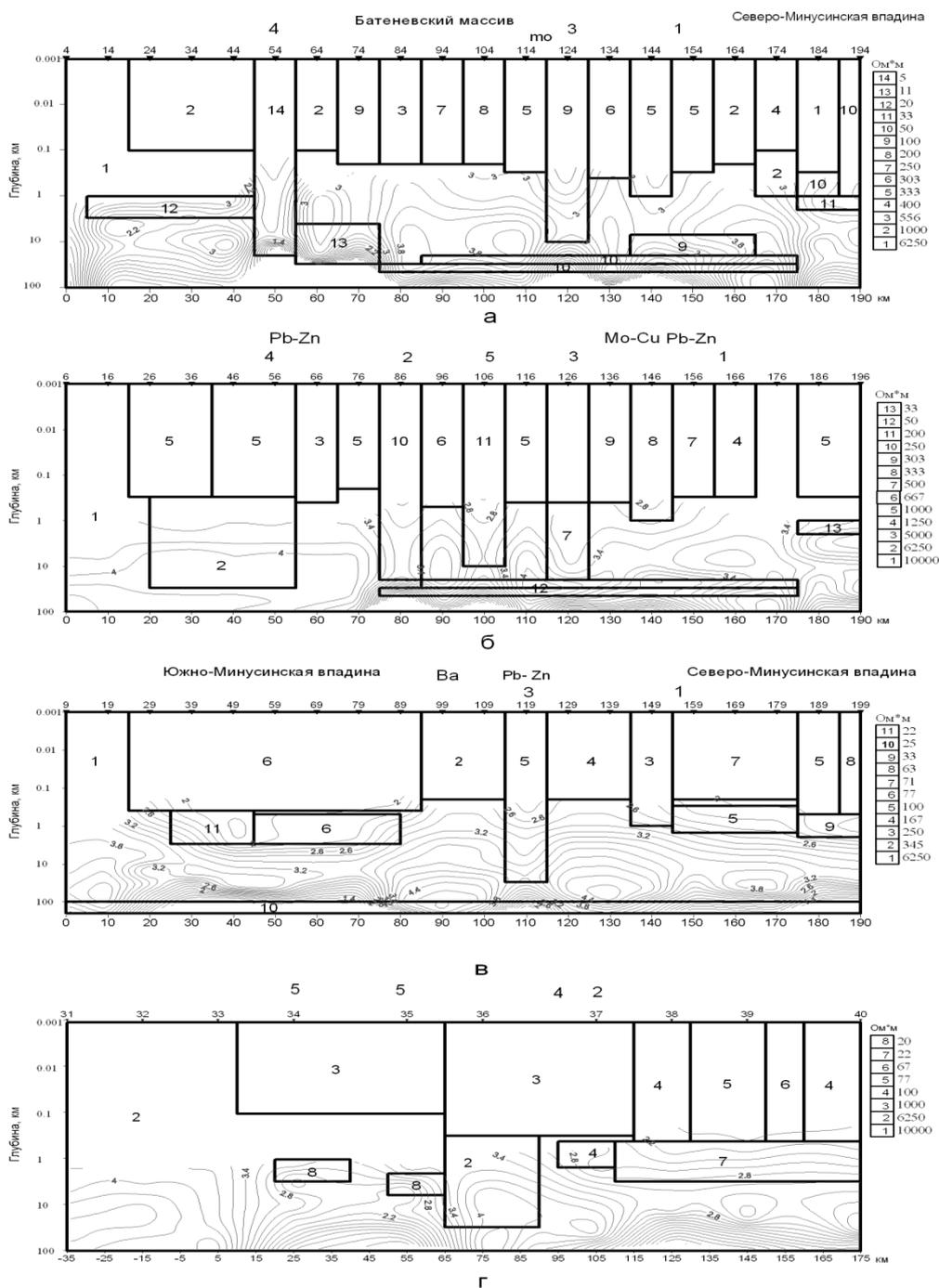


Рис. 3. Сечения 3D модели и результаты 1D инверсии кривых $\rho_{\max}^{\text{НМ}}$ вдоль точек: а - т.н. 45–195 (пр. I, МТЗ 317-398), б - т.н. 46–196 (пр. II, МТЗ 665-725), в - т.н. 49–199 (пр. III, МТЗ 405-455) и г - т.н. 34–40 (пр. IV, МТЗ 520-480)

Сверху даны т.н., месторождения полезных ископаемых и разломы: 1 – Сардино – Сорский, 2 – Саяно - Батеневский, 3 – “рудный”, 4 – “северо-западный”, 5 – Балысинский. $\rho(H)$ – в $\lg(\text{Омм})$. Справа – ρ блоков.

На профиле IV кривые МТЗ (530 - 474), расположенные в пре- делах Мрасского массива МТЗ 530-524, описываются модельными в т.н. 32-33-42 под которыми нет проводника. Балысинский разлом (МТЗ 520–524 и МТЗ 512-507) представлен в т.н. 34–44 и 35–45 на глубине 1-5 км и 4-7 км проводящими блоками (рис. 3, г). По ним величина вертикального перемещения достигает 0,5 – 0,58 мм/год.

Относительное отклонение (в процентах) подобранных модельных кривых от средних в группе экспериментальных для $Z_T^{\max H}$ в 10 группах МТЗ относительная погрешность $\delta^{\max H}$ составляет:

– на пр. 2 – 7,2-9,5, 16-17,6, 6-7, 10-7,43, 7,8, 9,5–10,6, 6,5-6,2, 5,3-7,6, 10,8–7,6, 20–10.

– на пр. 3 – 7,6-7,4, 9,5–7,8, 8,9–8,2, 24–19, 6,3-5,3, 6,4-5, 5,9-5,8, 17-18, 14.

Погрешность подбора в среднем составляет 7-10 %. Если рассматривать усеченный с низких частот диапазон периодов, то погрешность 3D инверсии уменьшается до 4-5 % [1].

Выводы

1. Определение параметров разреза, выполненное в режиме подбора 3D модельных кривых к экспериментальным $\rho^{\min H}$ и $\rho^{\max H}$, выделило блоки с повышенной электропроводностью, которые с одной стороны являются активизированными в кайнозойское время глубинными разломами, а с другой коррелируют с металлогеническими зонами, месторождениями полиметаллов (например, Сорское). Это свидетельствует об унаследованном режиме развития флюидонасыщенных зон коры или о возможной графитизации рудовмещающих формаций. При этом у разломов $\rho = 100 - 300$ Омм, при фоновом 5000-7000 Омм. Часть вертикальных низкоомных блоков коррелирует с зонами активизации и повышенной сейсмичности, не являясь рудными зонами.

2. В западной части 3D геоэлектрической модели, под экспериментальным пр. I, глубже 10 км выделены блоки с $\rho \approx 10 -$

100 Ом (т.н. 64 - 74, 144 - 174). Они близки к положению зон повышенного теплового потока, пониженных скоростей поперечных и продольных волн и высокого положения границы Мохо [1]. Это может быть связано с развитием здесь рифтовой зоны, с которой ассоциируется проводящий блок с $\rho \approx 50$ Ом, залегающий на глубине 20 км (т.н. 64-174, 95-175, 96-176).

4. Геоэлектрическая модель Алтайского очага землетрясений

Стартовая 3D геоэлектрическая модель построена по 1D инверсии нормализованных кривых $\rho^{\max HN}$ на профилях МТЗ Укок – Саглы, Бийск – Ташанта. Процедура нормализация при 1D инверсии кривых $\rho^{\max H}$, $\rho^{\max HN}$ дает структуру геоэлектрических разрезов $\rho(H)$ менее дифференцированной при переходе от кривых $\rho^{\max H}$ к $\rho^{\max HN}$, но положение низкоомных глубинных разломов сохраняется. Результирующая блочная модель, полученная по 3D инверсии кривых $\rho^{\min HN}$, $\rho^{\max HN}$ представлена на рисунке 4.

Из 1D инверсии модельных кривых $\rho^{\max HM}$ (рис. 5) вдоль сечений по профилям 1zx и 2zx этой модели (рис. 4) следует, что на фоне вмещающей среды с $\rho^M(H) = 10000 - 7000$ Ом выделяются: по $\rho^M(H) = 1000$ Ом глубинные разломы мощностью 10 км с $\rho = 10$ Ом (т.н. 8, Башеланский), по $\rho^M(H) = 1000 - 3000$ Ом с $\rho = 50$ Ом (т.н. 14, Шапшальский) и по $\rho^M(H) = 3000 - 5000$ Ом с $\rho = 250$ Ом (т.н. 5, Южно-Теректинский).

Курайский и Чулышманский разломы протяженностью 30 км с $\rho = 100 - 200$ Ом (т.н. 10 – 11) выделяются на $\rho^M(H)$ с 600 – 800 Ом, а с $\rho = 50$ Ом (т.н. 27) на $\rho^M(H)$ с 1000 Ом. Эти значения $\rho^M(H)$ близки к полученным $\rho(H)$ экспериментальных $\rho^{\max HN}$.

Таким образом, 3D инверсию можно проводить по кривым $\rho^{\max HN}$ свободным от влияния локальных неоднородностей. Но кривые $\rho^{\max H}$ в группе, где проводилась нормализация, не идеально конформны, поэтому подбор $\rho^{\max HM}$, осуществлялся к группе исходных $\rho^{\max H}$. Кривые $\rho^{\max HM}$, $\rho^{\min HM}$ близки по форме и уровню к $\rho^{\max H}$, $\rho^{\min H}$ на профиле Укок – Саглы (рис. 6), как и на профиле Бийск - Ташанта.

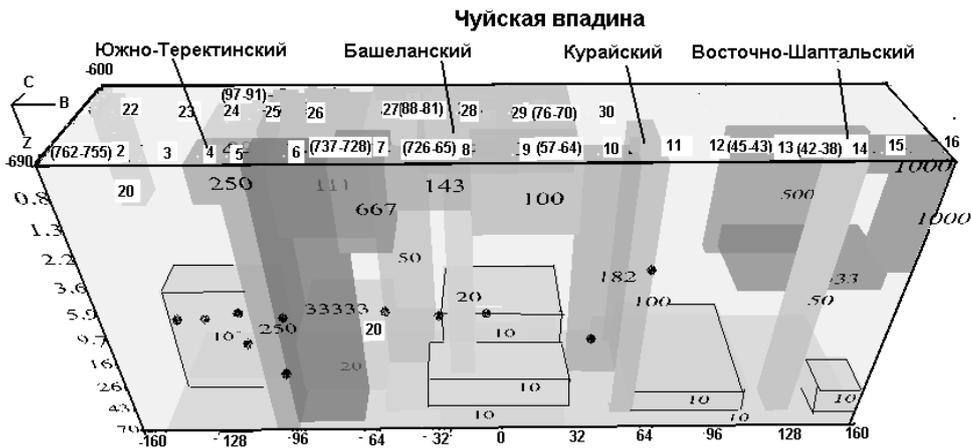


Рис. 4. Модель Алтайского очага землетрясений. Вид на профиль 1хх. На блоках - значения УЭС, сверху - номера модельных т.н. и разломы, в скобках экспериментальные МТЗ. Пятна - гипоцентры землетрясений. По осям X, Y и Z расстояния в км

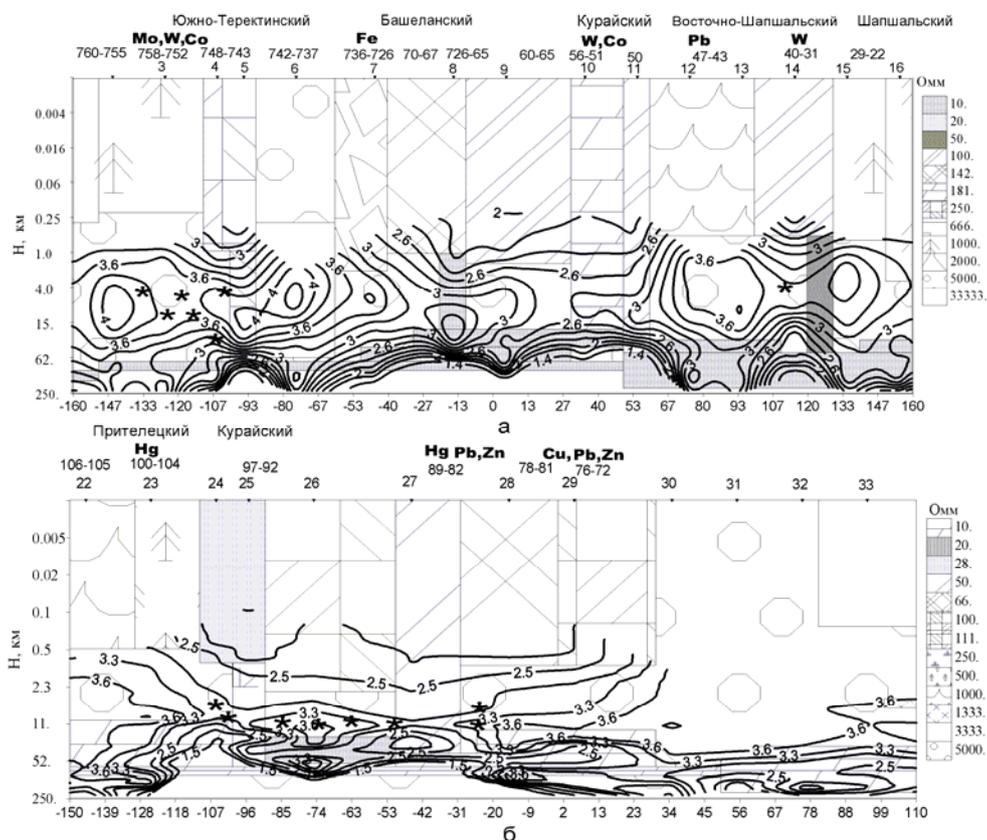


Рис. 5. Сечения по профилям 3D модели: а - т.н. 2 - 16, б - т.н. 22 - 30 и результаты 1D инверсии кривых $\rho^{\max HM}$ ($\lg OMM$)

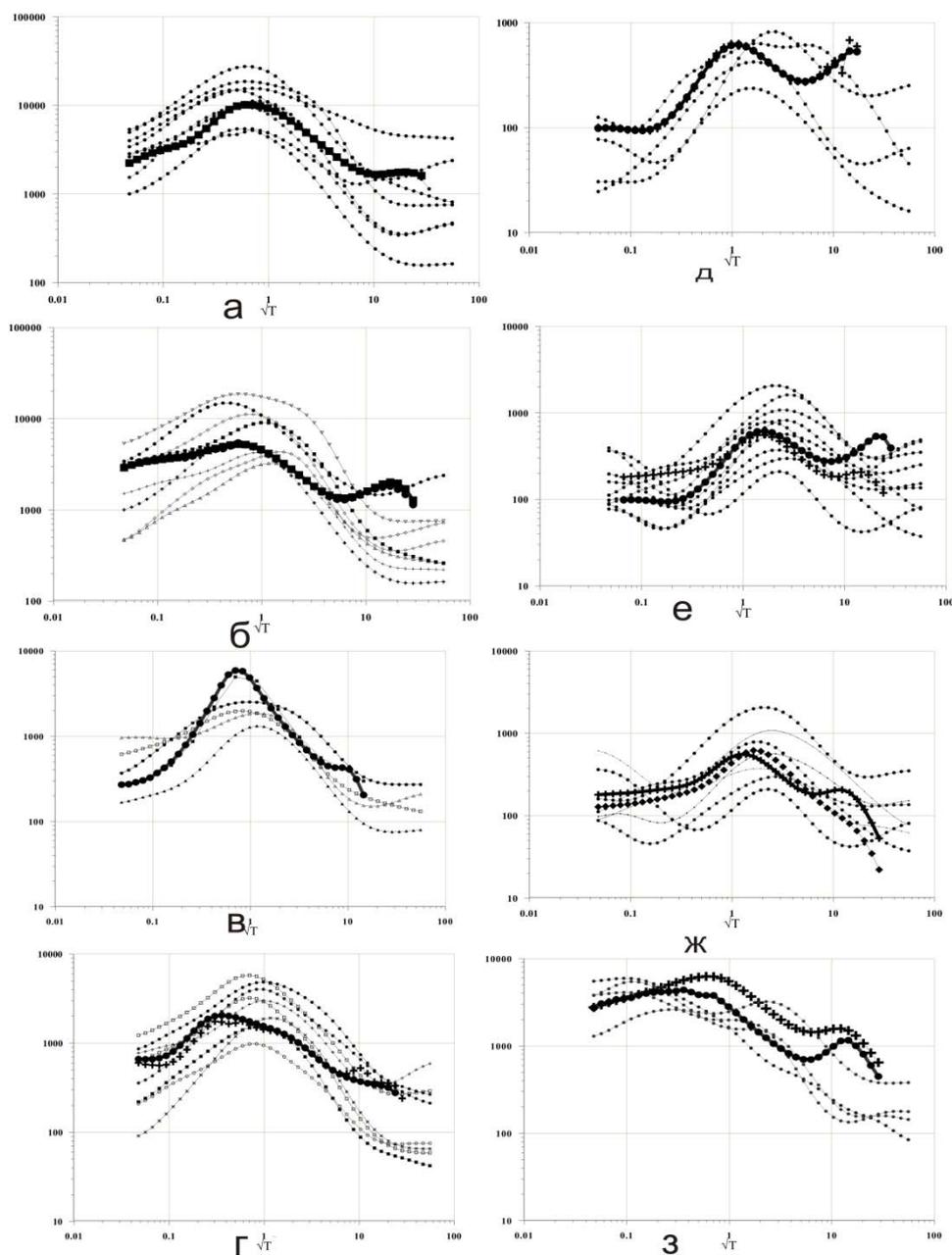


Рис. 6. Сопоставление модельных (т.н. в скобках) и экспериментальных (т.н. даны экспериментальные МТЗ, полезные ископаемые и глубинные разломы. Звездочки - гипоцентры землетрясений с $M > 3,3$. Расстояния - в км. Справа - шкала УЭС блоков в Омм

Относительная погрешность $\delta^{\max H}$ подбора модуля импеданса $|Z^{\max H M}|$ к среднему импедансу в группе $|\check{Z}^{\max H}(T)| = (1/N) \sum_{i=1}^N |Z_i^{\max H}|(T)$, состоящей из N кривых, определяется, как $\delta^{\max H} =$

$$(100/m) \sum_{j=1}^m \left| \left[n(Z_j^{\sqrt{\max H}}) - \ln(Z_j^{\max HM}) \right] / \left| \ln(Z_j^{\sqrt{\max H}}) \right| \right| \text{ относительно мо-}$$

дельного $Z^{\max HM}$, где m количество периодов по которым ведется суммирование. Аналогично определялась относительная погрешность $\delta^{\min H}$, подбора $|Z^{\min HM}|$ к среднему из экспериментальных импедансов $|\check{Z}^{\min H}|$ в группе из N кривых.

На профиле Укок – Саглы $\delta^{\max H}$ и $\delta^{\min H}$ для экспериментальных кривых $\rho^{\max H}$ на пр. Укок - Саглы в точках МТЗ: а - 762-755 (2), б - 758-751 (3), в - 749-746 (5), г - 737-728 (7), д - 726–65 (9), е - 57-65 (9-10), ж - 56–51 (11-10), з - 48–43 (12-13).

и модельных кривых (в скобках) составляют в точках МТЗ:

- 761 – 755 (2) $\delta^{\max H} = 5,9 \%$,
- 756 – 751 (3) $\delta^{\max H} = 11 \%$, $\delta^{\min H} = 52\%$,
- 749 – 746 (5) $\delta^{\max H} = 15 \%$, $\delta^{\min H} = 5,6\%$,
- 737 – 728 (7) $\delta^{\max H} = 12 \%$, $\delta^{\min H} = 321\%$,
- 726 – 65 (8) $\delta^{\max H} = 6,2 \%$, $\delta^{\min H} = 8,3 \%$,
- 64 – 57 (9) $\delta^{\max H} = 8,6 \%$, $\delta^{\min H} = 5,1\%$
- 56 – 64 (10-9) $\delta^{\max H} = 6,5\%$, $\delta^{\min H} = 3,4\%$,
- 48 – 43 (13) $\delta^{\max H} = 3,2\%$, $\delta^{\min H} = 7,1$.

На пр. Бийск – Ташанта $\delta^{\max H}$ и $\delta^{\min H}$ в точках МТЗ равны:

- 105–100 (24) $\delta^{\max H} = 10 \%$, $\delta^{\min H} = 34 \%$
- 97 - 93 (24) $\delta^{\max H} = 9,7 \%$, $\delta^{\min H} = 2,7 \%$
- 93 – 90 (24) $\delta^{\max H} = 12,0 \%$, $\delta^{\min H} = 32 \%$
- 90 – 82 (28) $\delta^{\max H} = 24,0 \%$ и $\delta^{\min H} = 13\%$,
- 81 – 76 (27 - 28)) $\delta^{\max H} = 17,1 \%$ и $\delta^{\min H} = 28 \%$
- 75 – 70 (8 - 30) $\delta^{\max H} = 14,2 \%$ и $\delta^{\min H} = 22 \%$,
- 70 – 67 (8) $\delta^{\max H} = 22 \%$ и $\delta^{\min H} = 67 \%$.

На северной границе Алтайской очаговой зоны глубже 10 км под т.н. 22 - 26 расположены блоки мощностью до 40 км с $\rho = 10 - 40$ Омм, а западнее их у коры и мантии $\rho = 5000$ Омм. В пределах Курайской впадины кривым $\rho^{\max H}$ МТЗ 97-94 соответствуют $\rho^{\max HM}$ в т.н. 24, расположенной над блоком с $\rho = 200 - 250$ Омм, который аппроксимирует боковое влияние Курайского и Прителецкого глубинных разломов север-северо-западного простирания. Вблизи них на глубине 6 - 20 км концентрируются

гипоцентры землетрясений. Кривым $\rho^{\max H}$ МТЗ 89 – 82, расположенным в Чуйской впадине, где на глубинах 10 - 20 км зарегистрированы гипоцентры землетрясений, соответствуют модельные (т.н. 27) над блоком с $\rho = 10$ Омм и $H > 20$ км, в который упирается разлом с $\rho = 50$ Омм. Западнее его - Южно-Теректинский глубинный разлом (МТЗ 748 - 745, т.н. 5) имеет УЭС на порядок выше (рис. 5,а). В его окрестности также расположены гипоцентры землетрясений. В окрестности Башелакского разлома, кривым МТЗ 67 – 70 отвечают модельные в т.н. 7 над блоком с $\rho = 20$ Омм, ограничивающего с юго-запада впадину и упирающегося на глубине 20 км в блок с $\rho = 10$ Омм. Здесь также расположены эпицентры землетрясений.

На восточном борту Чуйской впадины, в окрестности Курайского и Чулышманского глубинных разломов с $\rho = 100$ Омм кривые МТЗ 56 – 51 описываются модельными в т.н. 11 под которыми на глубине 20 км расположен блок с $\rho = 10$ Омм. В него упирается разлом (МТЗ 66 – 60) с $\rho = 180$ Омм. МТЗ 47 – 43 (т.н. 12 - 13), расположенные в СФЗ миогеосинклинального типа, показывают на наличие при $H = 30-40$ км пласта с $\rho = 10$ Омм протяженностью в десятки километров. На продолжении Восточно-Шапшальского глубинного разлома (МТЗ 40 – 31) [8] выделен блок с $\rho = 50$ Омм (т.н. 14), упирающийся на глубине 50 км в слой с $\rho = 10$ Омм.

На глубинах свыше 90 км среднее $\rho(H) = 100 - 200$ Омм, что на порядок ниже стандартного «холодного» разреза в распределении электропроводности коры и мантии. И согласно моделям [3] оно должно отвечать тепловому потоку в $70 - 80$ мВт/м². В данном месте тепловой поток (широта 50^0 и долгота 88^0) [5] в $80 - 96$ мВт/м² аномально высокий для региона, при среднем значении по Ануйско-Чуйской зоне в 50 мВт/м².

Рудопроявления ртути в районе МТЗ 100 – 106 ассоциируют с низкоомными формациями, выходы известково-углеродистых сланцев верхнего протерозоя - нижнего докембрия и Прителецким разломом (рис. 5). Рудопроявления свинца и цинка (МТЗ 90 - 91 и МТЗ 68 - 69) расположены над проводниками, залегающими на глубине 20 - 30 км под Чуйской впадиной и её бортами, разделенные Башеланским разломом (рис 1). Проводящие

глубинные разломы в настоящее время, в основном, активизированы с вертикальной амплитудой перемещения до 1,5 м в год

Месторождения железа (МТЗ 775–776, МТЗ 732–731) вблизи Башеланского и Южно–Теректинского глубинных разломов расположены в вулканогенных молассах каледонид Калгутинской и Юстыдской СФЗ, а молибдена, вольфрама, кобальта (754–760) в Южно-Чуйском зеленосланцевом выступе каледонид. Рядом с МТЗ 52 - 54 и МТЗ 35–45 (рис. 5), вблизи Чулышманского и Курайского разломов в интрузиях гранодиоритов силурийского возраста расположены рудопроявления вольфрама и кобальта. Рядом выделены блоки с пониженными $\rho(H)$ – известковисто-углеродистых сланцев верхнего протерозоя – нижнего кембрия.

5. Геоэлектрические модели Тээлинской и Шапшальской очаговых зон

Стартовая 3D геоэлектрическая модель построена на основании 1D инверсии кривых $\rho^{\max HN}$ по профилям Укок – Саглы (МТЗ 1 - 25), Саглы – Шира (189 - 242) и Тээли – Сарыг-Сеп (1 - 30). Согласно ей средняя и нижняя кора Тээлинской и Шапшальской очаговых зон характеризуются низкими $\rho(H)$ на глубинах от 20 км до 50 км в пределах Хемчинско-Куртушибинского, Барлыкского, Шуйского и Шапшальского глубинных разломов. Объемная модель представлена на рисунке 7, а сечение по т.н. 37 – 197 на рисунке 8.

На глубине 20 км под Шапшальским очагом выделены блоки с $\rho = 10$ Ом, которые на глубине 50 км упираются под т.н. 15 – 16 и т.н. 18 - 19 в основание с $\rho = 10$ Ом, а на глубине 4 - 8 км - блоки с $\rho = 100 - 600$ Ом под т.н. 17 и т. н 19 (рис. 7). Под последними на 10 - 15 км расположены гипоцентры землетрясений.

Западная часть Тээлинского очага расположена над блоками с $\rho = 10$ Ом при $H > 30$ км под Барлыкским (МТЗ 1 – 7) и при $H = 10$ км под южной частью Хемчинско-Куртушибинского разлома (МТЗ 20 - 25). Последний представлен с глубины 5 км до 10 км блоком с $\rho = 200$ Ом (т.н. 139), а при $H < 5$ км блоком с $\rho = 600$ Ом. Тээлинский очаг под МТЗ 218 – 232 (т.н. 117 - 157) проявляется на глубинах 10 - 11 км землетрясениями с $M > 3.3$ (рис. 8).

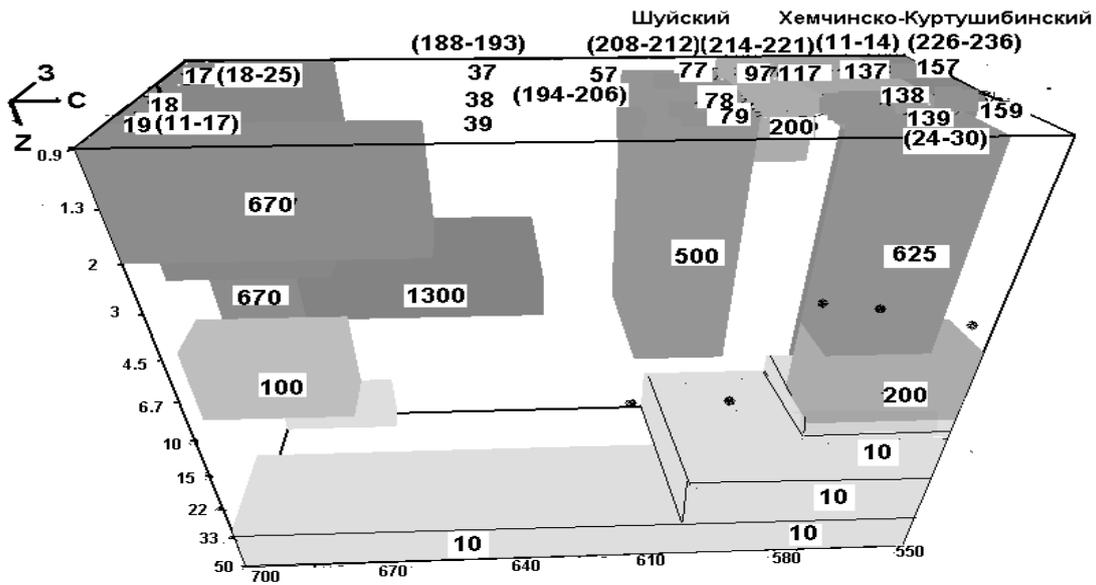


Рис. 7. Геоэлектрическая модель Тээлинского и Шапшальского очагов землетрясений. Сверху - номера т.н. и экспериментальных МТЗ (в скобках). На блоках - значения УЭС. Пятна - гипоцентры землетрясений. По осям расстояния в км

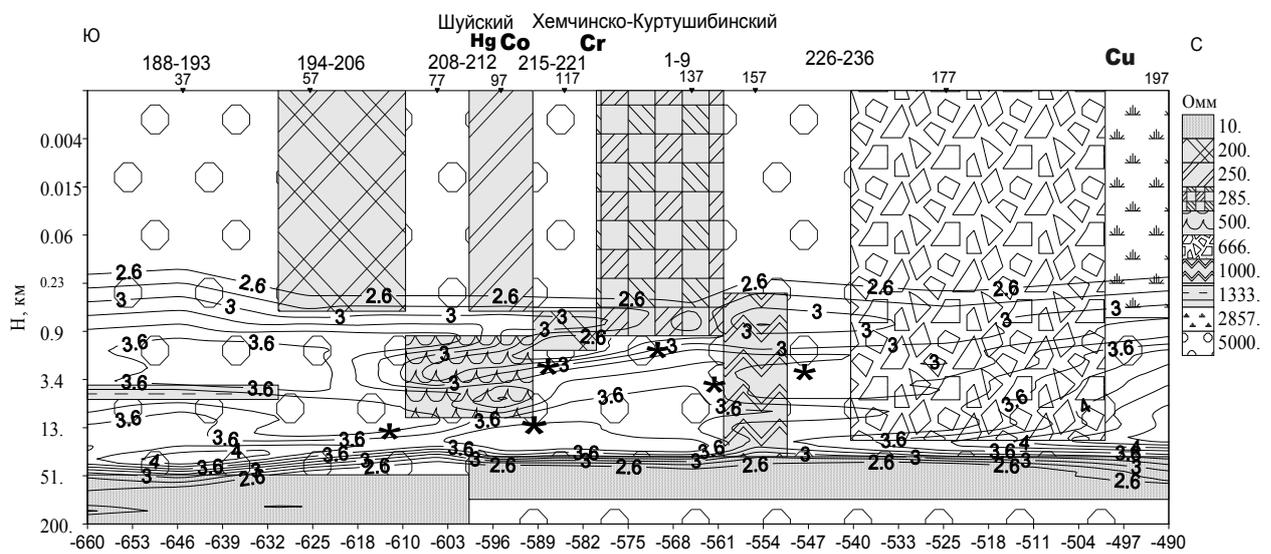


Рис. 8. Сечение по профилю Саглы - Ширы (т.н. 17–197) и результаты 1D инверсии кривых $\rho^{\max H}$ ($\lg \text{Ом}$). Сверху – номера модельных т.н., выше – экспериментальные МТЗ, месторождения полезных ископаемых и глубинные разломы. Звездочки – гипоцентры землетрясений с $M > 3,3$

В северной части Хемчинско-Куртушибинского разлома выделены блоки с $\rho = 200 - 1000$ Ом (фоновое значение $\rho = 5000$ Ом), аппроксимирующие широтные разломы, вблизи которых и выше пласта с $\rho = 10$ Ом - $H = 30 - 40$ км, расположены гипоцентры землетрясений. Они концентрируются, как вблизи высокоомных Южно-Теректинского, Барлыкского, Шуйского, северная ветвь Хемчинско-Куртушибинского разломов с $\rho = 200 - 1000$, так и низкоомных с $\rho = 10 - 50$ Ом Курайского, Шапшальского, Башеланского, южная ветвь Хемчинско-Куртушибинского, Восточно-Шапшальский (рис. 5, рис. 8).

Их флюидонасыщенность составляет 0,1 – 1 % и зависит от глубины расположения. Верхняя кора до глубины 15-20 км высокоомная ($\rho = 5000$ Ом) за исключением глубинных разломов.

На выходах зеленосланцевых байкалид расположены месторождения киновари (МТЗ 207 - 205), а вблизи Шуйского разлома - рудопроявления свинца, цинка, никеля и кобальта (МТЗ 212 – 209, МТЗ 230 – 231), которые ассоциируют с офиолитовыми комплексами (рис. 5,б, рис. 8). Месторождения хрома расположены вблизи Барлыкского разлома, в пределах Хемчинской зоны эвгеосинлиального типа (МТЗ 220). Рудопроявления меди (МТЗ 244–251) в Западно–Саянской СФЗ каледонид миогеосинклиального комплекса.

Выводы

1. Высокая проводимость глубинных разломов и блоков коры на глубинах от 10 км до 50 км, свойственна очаговым зонам землетрясений и разломам расположенным вблизи. Вдоль них вертикальная скорость перемещения превышает 1мм/г. При этом [8] гипоцентры землетрясений концентрируются, как вблизи разломов с $\rho = 200 - 1000$, так и с $\rho = 10 - 50$ Ом. Более высокие УЭС у субширотных разломов обусловлены сжимающим действием оказываемым на них сползающих с юга структур коры, а низкие у разломов субмеридионального направления связаны с движением по ним блоков коры.

УЭС средней и нижней коры в пределах зон землетрясений не превышает 10 - 20 Ом. Это свидетельствует о существенной дилатансии, трещиноватости и о наполнении коры флюидом. В

очаговых зонах верхняя кора до глубин 10-20 км высокоомная ($\rho = 3000 - 5000$ Ом) за исключением зон глубинных разломов.

2. УЭС одних и тех же глубинных разломов, изменяется на порядок при изменении их направлений. По ним, с учетом данных по скоростям продольных волн в очаговых зонах Алтае-Саянского региона [2], получены предварительные выводы об изменении флюидонасыщенности и степени связанности флюида, которые полезны для оценки проницаемости коры и сейсмического районирования территории.

3. Рудные месторождения гидротермального типа концентрируются вблизи проводящих глубинных разломов. Разбраковка блоков высокой проводимости по их принадлежности к рудным или очаговым зонам должна проводиться с оценкой дефицита скоростей продольных и поперечных волн [1, 2]. УЭС глубинных разломов в рассмотренных металлогенических зонах Кузнецкого Алатау выше, чем в очагах землетрясений.

СПИСОК ССЫЛОК

1. Белявский В. В., Гойдина А. Г. Трехмерная геоэлектрическая модель металлогенических зон Кузнецко-Алатауской складчатой области. *Физика Земли*. 2012. № 11—12. — С. 97—117.
6. Белявский В. В., Ракитов В. А. Флюидонасыщенность очаговых зон землетрясений Алтае-Саянского региона. // *Разведка и охрана недр*. — 2012. № 3. — С. 13—20.
7. Ваньян Л. Л. *Электромагнитные зондирования*. М. : 1997. — 219 с.
8. Геологическое строение СССР и закономерности размещения полезных ископаемых. Том: Алтае-Саянский регион и Забайкальско-Верхнеамурский регионы. Министерство геологии СССР. Л. «Недра», 1988. С. 299.
9. Соколова Л. С., Дучков А. Д. Новые данные о тепловом Алтае-Саянской складчатой области. *Геология и геофизика*. — 2008. т. 49. № 12. С. 1248—1261.
10. Counil J. L., le Mouel J. L., Menvielle M. Associate and conjugate directions concepts in magnetotellurics. *Annales Geophysicae*. 1986. 4B, 2. P. 115—130.

11. Caldwell T. G., Bibby H. M., Brown. C. The magnetotelluric phase tensor, submitted to *Geophys.J.Int.* Personal communication. 2003.
12. Геофизические исследования сейсморазведочными и электроразведочными методами глубинного строения Алтае-Саянской складчатой области по профилям общей протяженностью 3300 км. Организация и проведение режимных геофизических наблюдений на Тывинском полигоне. Кадурын В. А., Белявский В. В., Егоркин, А. В. и др. 2008 г. Инв. № Росгеолфонда 492309. Государственное федеральное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт Геофизические методы разведки».