

Белявский В.В. (ЦГЭМИ ИФЗ РАН), Шейнкман А.Л.
(ООО «Институт Геодинамики» РАЕН)

ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ АЛТАЕ-САЯНСКОГО РЕГИОНА

*Применение метода магнитотеллурического зондирования, с учетом данных методов обменных волн землетрясений и глубинного сейсмического зондирования, позволило с помощью аппарата 3-D моделирования магнитотеллурических полей решить обратную задачу магнитотеллурического зондирования и выделить районы возможного развития гидротермального оруденения. Показано, что такие районы концентрируются вблизи глубинных разломов, характеризующихся пониженным удельным электрическим сопротивлением, связанным и с повышенным содержанием флюида в матрице горных пород. По данному признаку в пределах Алтае-Саянского региона составлена карта зон, перспективных на полезные ископаемые. **Ключевые слова:** магнитотеллурическое зондирование, 3-D моделирование магнитотеллурических полей, полезные ископаемые.*

Belyavskiy V.V. (CGEMR IPE RAS), Scheinkman A.L. (Institute of Geodynamics RANS)

GEOELECTRIC MODEL OF THE CENTRAL PART OF ALTAI-SAYAN REGION

*Application of a method magnetotelluric sounding, in view of the given methods of exchange waves of earthquakes and deep seismic sounding, has allowed with the help of the device 3-D modeling MT of fields to solve a return problem magnetotelluric sounding and to allocate areas possible hydrothermal useful minerals. They concentrate near to the deep breaks described by lowered specific electric resistance, connected and with the raised contents of a fluid in a matrix of rocks. To the given attribute in limits of Altai-Sayan region the map of zones perspective on minerals is made. **Key words:** magnetotelluric sounding, 3-D modeling magnetotelluric field, useful minerals.*

Электроразведочные методы при поисках гидротермальных месторождений полезных ископаемых чувствительны к выделению рудных и рудовмещающих формаций, обогащенных сульфидами или ассоциируемых с графитизацией пород. Рудные компоненты отлагались в проницаемых, пригодных к адсорбции областях, характеризующихся и низкими удельными электрическими сопротивлениями (УЭС). В пределах металлогенических зон Западных Саян и Тувы плотность магнитотеллурических наблюдений с шагом 1,5–3 км позволяет опробовать методику 3-D инверсии данных МТЗ, максимально учитывающую влияние шумов, создаваемых неоднородностями разреза при оценке УЭС проводящих блоков коры. Это повышает надежность оценок содержания связанной доли флюида в матрице горных пород. Такой подход применялся и в пределах

Батеневского массива Кузнецкого Алатау при выделении низкоомных зон, перспективных на оруденение порфирирового типа медно-молибденового Сорского месторождения [1]. Этот тип месторождений обязаны своим возникновением отделением флюидной массы из расплава горной породы.

Для Западных Саян и Тувинского нагорья для позднего кайнозоя устанавливается север-северо-восточное направление сжатия; в результате по широтным разломам сформировались надвиговые структуры, а разломы северо-восточного простирания реализовались как сдвиги. Рассматриваемый участок (рис. 1) ограничен глубинными разломами: на западе Шапшальским, на севере Саяно-Минусинским, на северо-востоке Каа-Хемским и на юге — Южно-Таннуольским. Они, как и разломы более низкого ранга, характеризуются унаследованным режимом развития. Вдоль этих разломов проходила разгрузка напряжений и процессы рудоотложения, так как они обрамлены зонами дробления, способствующими протеканию гидротермальных процессов [5]. В качестве индикатора перемещения блоков коры [4] взят интервал кайнозойской активизации. Ряд месторождений золота, молибдена, цинка, свинца и других металлов связан с графитизированными сланцами, поскольку высокая абсорбционная способность углерода на стадии диагенеза позволяет их накапливать.

3-D интерпретация кривых магнитотеллурического зондирования. Построение 3-D геоэлектрической модели включает в себя: оценку размерности верхнего и нижнего структурных этажей; учет влияния «шумовой» части неоднородностей верхнего структурного этажа на кривые МТЗ путем их нормализации; 1-D инверсию нормализованных максимальных $\rho^{\max HN}$ кривых индукции [8] и построение по ней разрезов $\rho(H)$; определение наиболее информативных типов кривых МТЗ, оценку их разрешающей способности при выделении низкоомных блоков коры [1]; построение стартовой 3-D модели по $\rho(H)$ с учетом распределения интегральной проводимости осадочного чехла [7], границ разломных зон, выделяемых по скоростям продольных волн V_p и их повышенному поглощению в методе МОВЗ. Скоростные характеристики разреза были получены А.В.Егоркиным, В.А.Ракитовым, В.В.Недядко при интерпретации данных МОВЗ, выполненного в регионе в 2006–2009 гг.

Результатирующая 3-D модель строилась методом подбора 3-D модельных амплитудных кривых $\rho^{\min H}$, $\rho^{\max H}$ и их фаз к экспериментальным. Относительная погрешность подбора к среднему экспериментальному $\check{Z}^{\max H}(T) = 1/N \sum_{i=1}^N Z_i^{\max H}(T)$, построенному для группы из N кривых, модельного $Z^{\max HM}$ определяется для периода T_i как $\delta^{\max H}(T_i) = 100(\check{Z}^{\max H}(T_i) - Z^{\max HM}(T_i))/Z^{\max HM}(T_i)$, %. По всей кривой $\delta^{\max H}$ оценивалась как относительная среднеарифметическая по всем периодам для $\delta^{\max H}(T_i)$, а для профиля в целом $\bar{\delta}^{\max H}$ — это среднеарифметическая по МТЗ. Относительная погрешность подбора $\bar{\delta}^{\max H}$

составляла 8–25 %. Для усеченного диапазона периодов $\delta^{\max H}$ уменьшалась до 6–15 % [1]. Это связано с тем, что на периодах $T > 200$ с точностью расчета 3-D модельных кривых снижается, а на $T < 0,1$ с трудно смоделировать все неоднородности верхней части разреза.

Численное 3-D моделирование МТ полей выполнялось по программе Maxwell [3], в которой задача Коши для системы уравнений Максвелла решалась в квазистационарном приближении. Область подбора блоков в 3-D модели выделена на рис. 1, а вся расчетная область, учитывающая интегральную проводимость и за ее границами, протягивалась от $\lambda = 84^\circ$ до $\lambda = 99^\circ$ и $\phi = 48-56^\circ$.

Стартовые геоэлектрические разрезы. Из стартовых геоэлектрических моделей, представленных на рис. 2, следует:

1. На профиле Шушенское — Ак-Дурук глубинные разломы и блоки коры под МТЗ g14-g19, m27–m29, m15–m19 и Ch1–Ch13 характеризуются $\rho(H) = 3000-1000$ Ом·м при фоновом $\rho(H) = 40\ 000-100\ 000$ Ом·м. Хемчикская СФЗ (Ch15–Ch1) глубже 20 км представлена блоками с $\rho(H) = 400-600$ Ом·м, Куртушибинская

(g7-g13) и Западно-Саянская (m2-m15) СФЗ на глубинах >10 км — $\rho(H) >10\ 000$ Ом·м. Пониженные $\rho(H)$ коры обусловлены ее раздробленностью глубинными разломами, вдоль которых перемещаются блоки коры (рис. 2А). Блок коры под МТЗ Ch10–Ch3 (Центрально-Тувинский прогиб) испытывает погружение со скоростью 0,5 мм/год, а севернее Хемчикско-Куртушибинского разлома (МТЗ g5-g7) фиксируется подъем — до 1,0 мм/год [4].

2. На профиле Можарка — Кызыл — Эрзин при фоновом $\rho(H) = 10\ 000-50\ 000$ Ом·м большинство зон с $\rho(H) = 500-1000$ Ом·м отвечают глубинным разломам: Азасскому, Уюкскому, Байсютскому, Восточно-Таннуольскому и Агадарскому, активизированным в кайнозойское время (рис. 2Б). Блок коры от МТЗ 178 до МТЗ 197 с $\rho(H) = 3000-10\ 000$ Ом·м под Кызылской впадиной перемещается вниз со скоростью 0,3–0,4 мм/год по проводящим Байсютскому и Восточно-Таннуольскому разломам, а блок севернее Уюкского разлома поднимается со скоростью 0,7 мм/год.

3. На профиле Тээли — Сарыг-Сеп глубинные разломы Убсунур-Баянкольский, Балыктыг-Хемский,

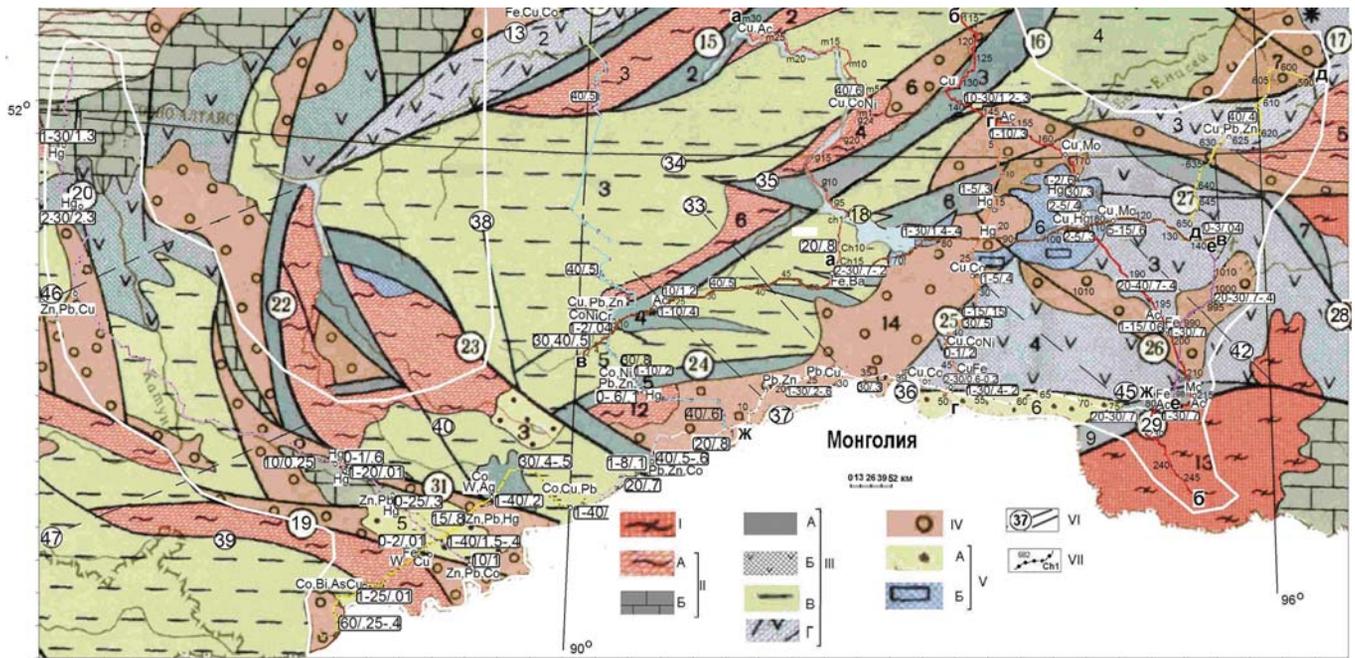


Рис. 1. Прогнозная схема размещения полезных ископаемых на схеме структурно-геологического районирования Алтае-Саянского региона [5]. Прогнозируемые типы месторождений и рудопроявлений с индексом \circ даны по работам [2, 6], рядом приведено содержание флюида (в знаменателе) и глубина, для которой оно рассчитано (в числителе). Белая линия — граница области 3-D моделирования МТ поля. I — раннепротерозойские гнейсово-сланцевые и гнейсово-сланцево-карбонатные комплексы (13 — Сангиленский); II — структурно-формационные зоны (СФЗ) поздних протерозоид: А — зеленосланцевые выступы байкалид (2 — Амыльский, 3 — Джебашский, 4 — Иджимский, 5 — Харальский, 6 — Сютхольский, 12 — Чингекагский), Б — терригенно-кремнисто-карбонатные чехлы массивов; III — СФЗ каледонид: А — раннекаледонские эвгеосинклинали с офиолитовыми ассоциациями (2 — Борусская, 3 — Куртушибинская, 4 — Хемчикская, 5 — Шуйская, 6 — Аргалыкты-Бурская, 7 — Каа-Хемская, 9 — Агадарская), Б — эвгеосинклинали с базальт-андезитовыми и базальт-риолитовыми ассоциациями (3 — Ондум-Буренская, 4 — Восточно-Таннуольская), В — позднекаледонские миогеосинклинали типа (3 — Западно-Саянская, 4 — Систиг-Хемская, 5 — Хемчикская), Г — эвгеосинклинали типа (2 — Северо-Саянская, 3 — Улуг-Ойская); IV — СФЗ каледонид орогенной стадии, раннеорогенные вулканогенно-молассоидные впадины (6 — Усинская, 7 — Тоджинская, 14 — Тувинская); V — СФЗ посторогенной активизации, молассоидные впадины: А — кайнозойские (5 — Чуйская, 6 — Убсунурская), Б — юрские угленосные (6 — Улуг-Хемская); VI — глубинные разломы: 13 — Саяно-Минусинский, 15 — Борусский, 16 — Хемчикско-Куртушибинский, 17 — Азасский, 18 — Уюкский, 19 — Башеланский, 20 — Сарасинский, 22 — Прителецкий, 23 — Шашальский, 24 — Шуйский, 25 — Убсунур-Баянкольский, 26 — Восточно-Таннуольский, 27 — Байсютский, 28 — Каа-Хемский, 29 — Агардагский, 31 — Курайский, 33 — Карасуг-Улутайский, 34 — Кантегирский, 35 — Усинский, 36 — Южно-Таннуольский, 37 — Барлыкский, 38 — Восточно-Шашальский, 39 — Южно-Теректинский, 40 — Чулышманский, 42 — Балыктыг-Хемский, 45 — Унгешский, 46 — Элекмонарско-Артыбашский, 47 — Аргутско-Улаганский; VII — профили и точки МТЗ: а-а — Шушенское — Ак-Дурук, б-б — Можарка — Кызыл — Эрзин, в-в — Тээли — Сарыг-Сеп, г-г — Шивилинг — Ак-Чарыз, д-д — Бояровка — Азас, е-е — Сарыг-Сеп — Ильинка, ж-ж — Саглы — Самагалтай

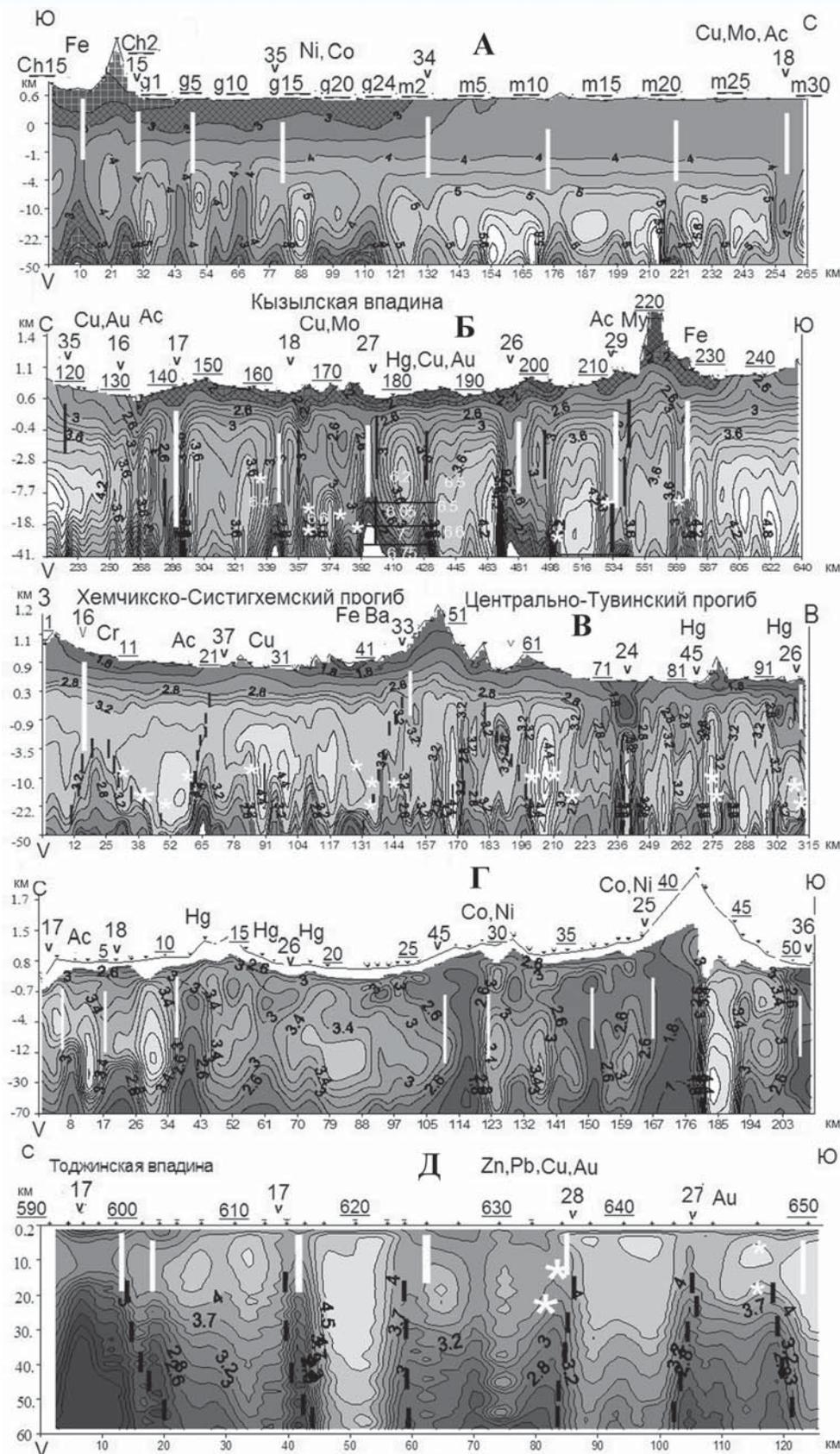


Рис. 2. Стартовые геоэлектрические разрезы, полученные по 1-D инверсии кривых ρ^{maxH} (изолинии $\rho(H)$ — в Ig ρ Ом·м) по профилям: А — Шушенское — Ак-Дурук, Б — Можарка — Кызыл — Эрзин (МТЗ 120–248), В — Тээли — Сарыг-Сеп, Г — Шивилинг — Ак-Чарыз, Д — Бояровка — Азас. Подчеркнутые цифры — номера МТЗ, цифры над ними — номера глубинных разломов (см. рис. 1). Черные линии — разломы, выделенные по ГСЗ, белые — активизированные в кайнозойское время. Малые звезды — гипоцентры землетрясений с $M = 1,5-3,3$, зарегистрированные за время работы МОВЗ, а большие — с $M = 6,6-6,7$ (Тувинских землетрясений 27.12.2011 г. и 26.02.2012 г.)

Шуйский, Барлыкский, Хемчикско-Куртушибинский, Карасуг-Улатайский и Унгешский выделяют пониженными значениями $\rho(H)$ — 1000–300 Ом·м (рис. 2В). Тувинская впадина погружается со скоростью 0,4–0,7 мм/год. Западнее Барлыкского разлома подъем зеленосланцевых формаций превышает 1,5 мм/год. Восточнее Балыктыг-Хемского разлома Ондум-Буренская СФЗ испытывает подъем до 1 мм/год.

4. На профиле Шивилинг — Ак-Чарыз (рис. 2Г) Тувинская (МТЗ 15–28) и Восточно-Таннуольская (30–47) СФЗ испытывают подъем со скоростью 1 мм/год, а Убусунурская и Тувинская впадины — опускание со скоростью 0,5–0,7 мм/год. Глубинные разломы, которые ограничивают эти блоки и вблизи которых расположены рудопроявления, выделяются пониженными УЭС.

5. На профиле Бояровка — Азас (рис. 2Д) вблизи Каа-Хемского и Байсютского глубинных проводящих разломов Ондум-Буренская СФЗ испытывает опускание со скоростью 0,4 мм/год, а расположенные севернее СФЗ — подъем со скоростью 0,7–1,2 мм/год. Азаский и Систег-Хемский глубинные разломы выделяются пониженными значениями $\rho(H)$.

6. На профиле Сарыг-Сеп — Ильинка (МТЗ 978–1018) проводящие блоки под МТЗ 986–1016 расположены в пределах Каа-Хемской и Баш-Хемской рифтовых долин, ограниченных Агардагским и Восточно-Таннуольским проводящими разломами (рис. 3Е). Они разделяют блоки коры, поднимающиеся со скоростью 1,2–1,5 мм/год и опускающиеся со скоростью 0,3–0,7 мм/год.

Геоэлектрическая модель Тувы и Западных Саян. Сечения 3-D модели по профи-

лям 1зу (А), 3зу (Б), 5zx (В), 5зу (Г), 1zx (Д) и 9зу (Е) представлены на рис. 3. Они соответствуют профилям МТЗ (рис. 1, 2): Шушенское — Ак-Дурук; Шивилинг — Ак-Чарыз и Можарка — Кызыл — Эрзин; Тээли — Сарыг-Сеп; Можарка — Кызыл — Эрзин; Саглы — Самагалтай; Сарыг-Сеп — Ильинка и Бояровка — Азас. Видно, что проводящие блоки при 1-D инверсии кривых ρ_{maxHM} описываются изолиниями пониженных $\rho(H)^M$ (рис. 3), значения которых близки к $\rho(H)$ на рис. 2. Блочная 3-D модель Кызылской впадины представлена на рис. 4.

Профиль Шушенское — Ак-Дурук. Под северным бортом Центрально-Тувинского прогиба (МТЗ Ch1-Ch15) проводящий слой поднимается до 15 км. Под МТЗ Ch5-Ch1 ($-590 \div -580$ км) и g11-g24 ($-550 \div -530$ км) выделены разломы мощностью 0,4–0,8 км с $\rho = 100$ Ом·м (рис. 3А). Рядом расположены рудопроявления асбеста (Ac), меди, железа (МТЗ m30), никеля, кобальта, меди (m1-m3, МТЗ $-520 \div -510$ км), меди, бария и железа (МТЗ Ch14).

Профиль Можарка — Кызыл — Эрзин. Под раннеорогенными вулканогенно-молассоидными формациями — МТЗ 196–204 ($-620 \div -630$ км), под Кызылской впадиной — МТЗ 170–180 и 149–170 ($-540 \div -510$ км) на глубинах 1–8 км присутствуют блоки мощностью до 10 км с $\rho = 10–100$ Ом·м. Угленосным формациям Кызылской впадины (МТЗ 180–184) отвечают блоки с $\rho = 50–100$ Ом·м, протягивающиеся до $H = 5$ км, а глубинным разломам — с $\rho = 20–250$ Ом·м (рис. 3Б, Г).

Рядом с профилем расположены рудопроявления меди, асбеста (МТЗ 134–135 — рис. 2Б), ртути (МТЗ 178–174 и 180–187), асбеста (МТЗ 150–148, 195–200 и

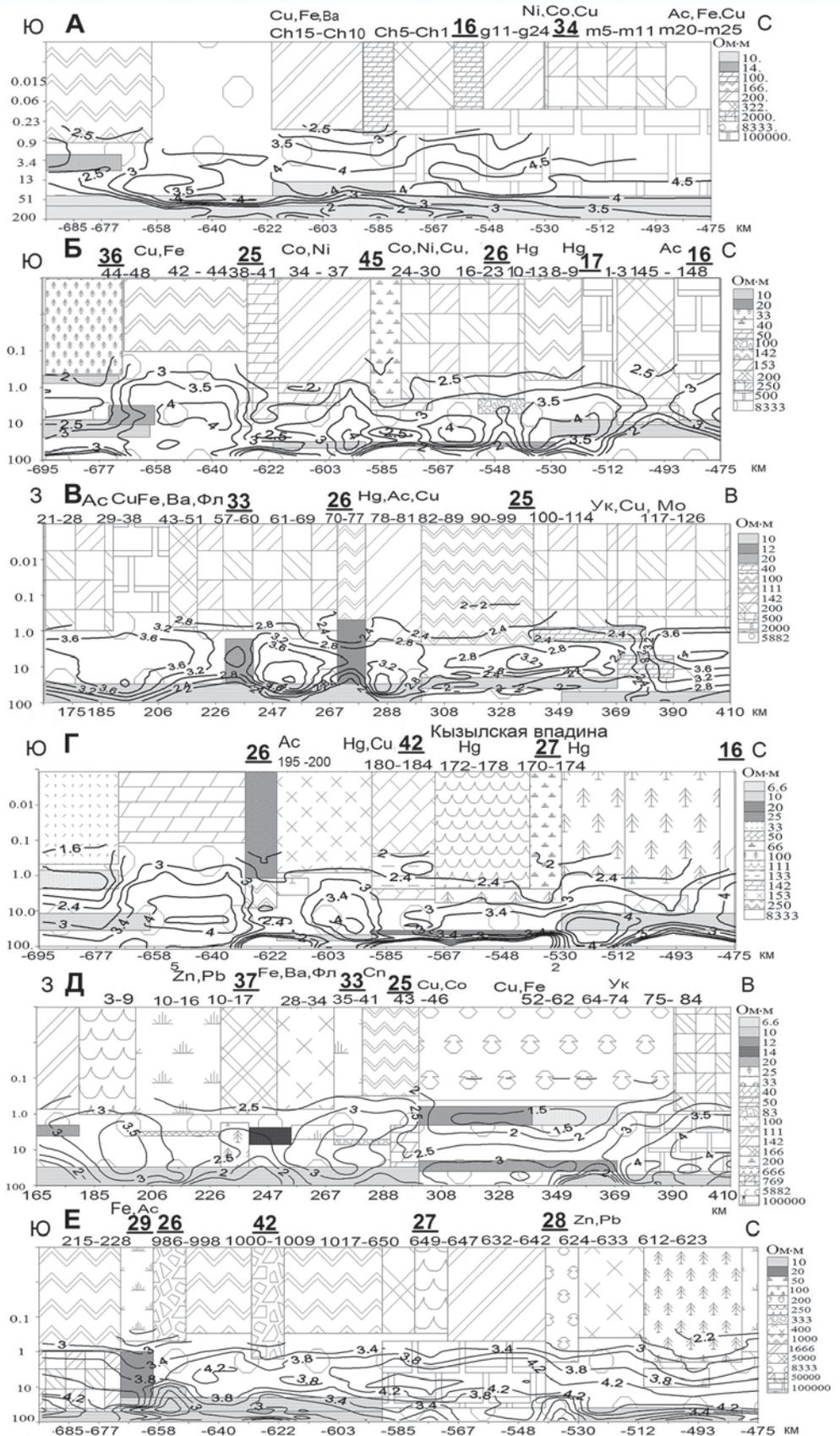


Рис. 3. Результаты 1-D инверсии кривых ρ_{maxHM} (изолинии $\rho(H)$ даны в lg ρ Ом·м) и сечения моделей М1 (1zx, 6zx), М2 (1зу, 3зу, 5зу и 9зу) вдоль профилей: А — 1зу (Шушенское — Ак-Дурук); Б — 3зу (Шивилинг — Ак-Чарыз); В — 6zx (Тээли — Сарыг-Сеп); Г — 5зу (Можарка — Кызыл — Эрзин); Д — 1zx (Саглы — Самагалтай); Е — 9зу (Сарыг-Сеп — Ильинка, Бояровка — Азас). Подчеркнутые цифры на профиле — номера глубинных разломов (см. рис. 1), ниже — номера экспериментальных МТЗ. Справа — шкала УЭС блоков. Шкала глубин — логарифмическая

217–214 — рис. 3Б, Г), мусковита (МТЗ 215–216) и железа (к МТЗ 227–228). Терлихайское, Арзаское и Тора-саирское рудопроявления ртути и Кызык-Чадрское месторождение меди размещаются над низкоомным блоком (МТЗ 178–187), характеризующимся (согласно данным Центра ГЕОН, А.В.Егоркин, Н.М.Чернышев, 1986) на глубинах 10–20 км под профилем ГСЗ дефицитом скорости $\Delta V_p = 0,3–0,4$ км/с. Это свидетельствует о проницаемости коры и глубинном заложении рудогенерирующих структур (рис. 2Б), связанных с проводящим Байсютским разломом. Вблизи офиолитовых образований Агардагского проводящего разлома локализованы месторождения асбеста (МТЗ 213–214) и железа (МТЗ 227–228, рис. 3Е).

Профиль Шивилинг — Ак-Чарыз. Вблизи Азасского и Уюкского разломов (рудопроявлений ртути) под МТЗ 10–13 на глубине 2 км расположен блок мощностью 3 км с $\rho = 100$ Ом·м (рис. 3Б). В Центрально-Тувинском прогибе у Восточно-Таннуольского разлома под МТЗ 16–23 на глубине 2 км выделен блок мощностью 3 км с $\rho = 100$ Ом·м (Баянкольское месторождение ртути, МТЗ 16–18). На пересечении Байсютского и Убсунур-Баянкольского разломов (МТЗ 24–30) в интервале глубин 1–3 км залегает блок с $\rho = 50$ Ом·м, а глубже наблюдается понижение УЭС. Выделены и рудопроявления кобальта, меди, никеля (МТЗ 27–28). Под Убсунур-Баянкольским разломом (МТЗ 34–37) в интервале глубин 1–3 км выявлен блок с $\rho = 50$ Ом·м, а под МТЗ 39–41 — и блок с $\rho = 200$ Ом·м, протягивающийся до глубины 10 км (Хову-Аксинское месторождение — Co, Ni, Cu и Ag).

Профиль Тээли — Сарыг-Сеп. Под МТЗ 46–51 (210–220 км) в Центрально-Тувинском прогибе рядом с рудопроявлениями железа, флюорита, бария и ртути выделен блок с $\rho = 200$ Ом·м, а под МТЗ 57–60 (230–240 км) в пределах пересекающихся субширотных и субмеридиональных разломов, на южном борту Центрально-Тувинского прогиба — блок с $\rho = 20$ Ом·м (Карасуг-Улатайский разлом). Под Восточно-Таннуольским разломом рядом с МТЗ 70–77 и рудопроявлениями ртути, асбеста и меди расположен блок с $\rho = 12$ Ом·м (рис. 3В). В зоне пересечения Восточно-Таннуольского и Шуйского разломов под Центрально-Тувинским прогибом и Кызыльской впадиной (МТЗ 78–81 и 82–89) на глубине 20 км фиксируется блок с $\rho = 10$ Ом·м. Это зона рудопроявлений ртути. Севернее блоков с $\rho = 40$ Ом·м, размещающихся под МТЗ 100–114 (340–350 км) на глубине 1 км и под МТЗ 117–126 на глубине 5 км, обнаружены рудопроявления меди и молибдена. В зоне влияния Хемчикско-Куртушибинского глубинного разлома у МТЗ 7–8 выделены рудопроявления хрома, у МТЗ 20 — асбеста, у МТЗ 26–27 — меди (рис. 2В).

Профиль Саглы — Самагалтай. Под МТЗ 10–27 на северном борту Убсунурской впадины на глубине 2 км расположен пласт с $\rho = 20–40$ Ом·м (рис. 3Д). Барлыкский разлом (МТЗ 16–19) приурочен к блоку с $\rho = 25$ Ом·м, рядом с которым обнаружены рудопроявления свинца и цинка.

Карасуг-Улатайский разлом (МТЗ 28–34) — это блок с $\rho = 200$ Ом·м, а Убсунур-Баянкольский (МТЗ 43–50) — блок на глубине 1,5 км с $\rho = 50$ Ом·м. Здесь же выявлены рудопроявления кобальта, никели, железа, меди, бария, свинца и флюорита.

Профили Сарыг-Сеп — Ильинка и Бояровка — Азас. Агардагский и Восточно-Таннуольский разломы (МТЗ 979–983) расположены над блоком с $\rho = 250$ Ом·м (рис. 3Е), рядом с месторождением асбеста. Под МТЗ 986–998, 1000–1009 и 1009–1017 глубже 20–30 км установлен пласт с $\rho = 10$ Ом·м, залегающий на проводящем основании.

В окрестности Каа-Хемского разлома (МТЗ 624–633) находится блок с $\rho = 200$ Ом·м, а в Тоджинской впадине под МТЗ 592–604 — блоки на глубине 3 км с $\rho = 50$ Ом·м и на глубине 30 км с $\rho = 10$ Ом·м. На расстоянии 10 км от МТЗ 630–625 выделена серия рудопроявлений цинка и свинца. Западнее МТЗ 635, 646 обнаружены и рудопроявления золота, которые также коррелируют с понижением УЭС блоков коры.

По результатам 3-D инверсии кривых МТЗ составлены прогнозные схемы распределения флюида и рудопроявлений (месторождений) Горного Алтая, Тувы и Западных Саян (рис. 1).

Результаты исследований.

1. Исследования на 3-D моделях показали, что большинство вертикальных блоков с $\rho = 10–200$ Ом·м выделяются пониженными значениями $\rho(H)^M$ кривых ρ^{maxH} (рис. 3), а значения с $\rho(H) = 300–1000$ Ом·м (рис. 2) при фоновых $\rho(H) = 10\,000$ Ом·м могут быть вызваны, как и в моделях (рис. 3), блоками с $\rho = 10–200$ Ом·м. Для восстановления УЭС необходимо выполнять 3-D инверсию кривых ρ^{maxH} и ρ^{minH} и их фаз.

2. Под Кызыльской, Улуг-Хемской, Тувинской, Чуйской впадинами на глубине 10–20 км расположены блоки с $\rho = 10–30$ Ом·м, тогда как за их пределами такие значения ρ характерны в основном для глубин порядка 40 км (рис. 3, 4). В пределах впадин преобладают растягивающие горизонтальные напряжения, что способствует поступлению флюида в верхнюю часть коры и понижению УЭС в ней.

3. В наиболее активных зонах на глубине 10–20 км УЭС уменьшается до 10–30 Ом·м, что свидетельствует

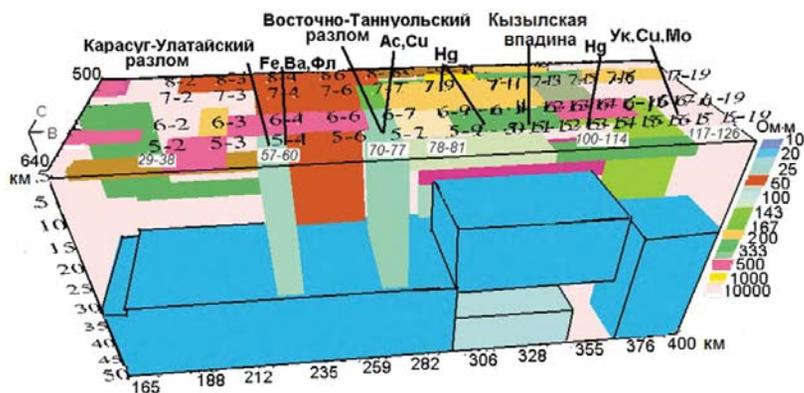


Рис. 4. Вид с профиля бzx (Тээли — Сарыг-Сеп) на модель Кызыльской впадины. Экспериментальным МТЗ (цифры с наклоном) соответствуют точки: 5–2 — МТЗ 29–38, 5–4 — МТЗ 57–60, 5–7 — МТЗ 70–77, 5–9 — МТЗ 78–81 и т.д. Справа — шкала УЭС

о наполнении коры связанным в цепочки жидким флюидом с $\phi_p = 0,5-1,5\%$ (к общему объему породы). За их пределами проводящие блоки с $\phi_p = 0,3-0,4\%$ расположены глубже 40 км (рис. 1), а верхняя и средняя кора — высокоомная, с $\rho = 3000-5000$ Ом·м, но в пределах глубинных разломов $\rho = 10-300$ Ом·м; здесь $\phi_p = 1,5-0,03\%$ [1]. Высокими ϕ_p (0,5–1,5 %) характеризуются глубинные разломы: Чуйской впадины — Башеланский, Прителецкий, на южном борту Центрально-Тувинского прогиба и пересечения Курайского и Чулышманского, Азасского, Каа-Хемского и Хемчикско-Куртушибинского разломов. Такое же высокое содержание флюида — до $\phi_p = 3-0,4\%$ свойственно Сарасинскому, Восточно-Таннуольскому, Унгешскому и Карасуг-Улатайскому разломам субмеридионального и северо-западного направлений, вдоль которых также прогнозируется серия рудопроявлений (рис. 1).

4. Из геоэлектрической модели Алтае-Саянского региона следует, что зоны эндогенной рудной минерализации ассоциируют с низкоомными глубинными разломами, расположенными в офиолитовых поясах, в базальт-риолитовых, базальт-андезитовых формациях, на зеленосланцевых выступах байкалит. Графитизированные сланцы нижнего кембрия и верхнего протерозоя, в которых прогнозируются рудопроявления, также выделяются пониженными значениями $\rho(H)$ [1].

Унаследованный режим развития разломов, с которыми связан процесс становления рудных формаций и которые представляют собой в настоящее время активные структуры, позволяет картировать их МТ методами по низким значениям УЭС (высоким содержаниям флюида), являющимся поисковым признаком (рис. 1). Если на прогнозной карте рядом с зонами рудной минерализации [2, 5, 6] нет условных индексов (кружки), то они не характеризуются на 3-D геоэлектрических разре-

зах значимым понижением УЭС, хотя рядом и расположены рудопроявления. Прогнозируемые типы рудопроявлений полезных ископаемых ассоциируют с однотипными месторождениями, выявленными ранее в пределах рассматриваемой структурной единицы [2, 5, 6].

Авторы благодарны сотрудникам ОП Центра «ГЕОН», ФГУП ВНИИГеофизика, ГППК КНИИГиМС, выполнявшим полевые наблюдения, обработку МТ-данных и участвовавшим в написании отчетов по Алтае-Саянскому региону, материалы которых и легли в основу статьи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белявский В.В. Геоэлектрическая модель Алтае-Саянской складчатой области. — LAP-LAMBERT, Academic Publishing, 2014.
2. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Карта полезных ископаемых. Алтае-Саянская серия. — М.: МПР РФ, 2002.
3. Друскин В.Л., Книжнерман Л.А. Спектральный полудискретный метод для численного решения трехмерных нестационарных задач в электроразведке // Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли. — 1988. — № 8. — С. 63–74.
4. Краснораменская Т.Г., Лобацкая Р.М. Объемная неотектоническая разломно-блоковая модель Алтае-Саянской складчатой области и сейсмический процесс / Тектонофизика и актуальные вопросы науки о Земле. — М.: ИФЗ РАН, 2008. — С. 267–269.
5. Матросов П.С., Шапошникова Г.Н. и др. Геологическое строение СССР и закономерности размещения полезных ископаемых. Т. 7: Алтае-Саянский регион и Забайкальско-Верхнеамурский регионы. Кн. 1. — Л.: Недра, 1988.
6. Рундквист Д.В., Волкова В.М., Смирнов В.И. Комплект карт «Металлогения СССР». Масштаб 1:1500 000. — Л.: ВСЕГЕИ, 1988.
7. Шейнкман А.Л., Нарский Н.В. Карта суммарной электропроводности осадочного чехла территории России / Электромагнитные зондирования Земли: Материалы IV Всесоюз. школы-семинара по электромагнитным зондированиям. — М.: ИФЗ РАН, 2009. — С. 45–46.
8. Counil J.L., le Mouel J.L., Menvielle M. Associate and conjugate directions concepts in magnetotellurics // Annales Geophysicae. — 1986. — V. 4B, 2. — P. 115–130.

© Белявский В.В., Шейнкман А.Л., 2015

Белявский Виктор Владимирович // victor.belyavsky@list.ru
Шейнкман Александр Львович // geodinam@yandex.ru

ГИДРОГЕОЛОГИЯ И ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

УДК 550.822:644.6:338.462:338.268

Сизов А.В., Боярко Г.Ю. (Национальный исследовательский Томский политехнический университет)

ТЕХНИЧЕСКИЙ НАДЗОР ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ВОДОЗАБОРНЫХ СКВАЖИН

*Предлагается повысить качество строительства водозаборных скважин посредством внедрения супервайзинга. Супервайзер, контролируя технологию проведения буровых работ, рабочее испытание водозаборной скважины, а также производя входной контроль используемых материалов, может существенно снизить долю дефектного строительства при сооружении водозаборных скважин. Наиболее приемлемыми кандидатурами для специалистов-супервайзеров будут выпускники образовательных направлений «Гидрогеология и инженерная геология» и «Природообустройство и водопользование». **Ключевые слова:** супервайзинг, водозаборная скважина, качество работ.*

Sizov A.V., Boyarko G.Yu. (National Research Tomsk Polytechnic University)

TECHNICAL SUPERVISION DURING CONSTRUCTION OF WATER WELLS

*It is proposed to improve the quality of construction of water wells by segments-rhenium supervising. The authors note that supervisor, through proper monitoring of drilling technology, carrying out of water-supply well functional test, as well as realizing of incoming control, can significantly reduce the number of faults during water-supply well construction. The most suitable supervising specialists will be «Groundwater hydrology and engineering geology» and «Environmental engineering and water consumption» graduates. **Key words:** supervising, water-supply well, quality of work.*

В России практически во всех населенных пунктах от мегаполисов до маленьких поселков действуют, строятся новые и ремонтируются старые подземные водозаборы для питьевого и промышленного водоснаб-