

Белявский В.В. (ЦГЭМИ ИФЗ РАН)

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ФЛЮИДОНАСЫЩЕННОСТИ КОРЯКСКО-КАМЧАТСКОГО РЕГИОНА ПО ДАННЫМ МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

*Интерпретация магнитотеллурических данных в Корякско-Камчатском регионе, выполненная в режиме подбора 3D моделей к инвариантным характеристикам матрицы импеданса и типпера, позволила построить схему распределения электропроводности коры и мантии, выделить проводящие блоки под наиболее активизированным в сейсмическом и вулканическом отношении структурам региона. Они приурочены к субширотным, северо-западным региональным разломам, северо-восточным структурам коры и верхней мантии. Зоны повышенной проводимости коррелируют с положением низкоскоростных и низкоплотностных блоков, что может быть связано с их флюидонасыщенностью. **Ключевые слова:** магнитотеллурическое зондирование, 3D моделирование МТ полей, флюид.*

Belyavskiy V.V. (TSGEMI IFZ RAN)

DISTRIBUTION OF FLUID-KORYAK-KAMCHATKA REGION ACCORDING MAGNETOTELLURIC SOUNDING

*Interpretation of magnetotelluric information in the Koryak-Kamchatka region, was carried out in the mode of selection of 3D models to the invariant characteristics of the impedance matrix and the tipper allowed to build the electrical conductivity distribution scheme of the crust and mantle, select conductive blocks under the most activated in the seismic and volcanic region of the structure. They were confined to sublatitudinal, northwest regional faults, north-eastern structures of the crust and upper mantle. Increased conduction band has correlated with the position of low-speed and low-density blocks, which may be due to their fluid saturation. **Keywords:** magnetotelluric sounding, 3D modeling of the MT field, fluid.*

3D интерпретация магнитотеллурических методов, выполненных в Корякско-Камчатском регионе с 2003 по 2010 г. ГПП «Камчатгеология» (ОАО «Камчатгеология») с целью изучения строения очаговых зон землетрясений, вулканических построек и глубинного геологического строения, позволила получить первое представление о содержании связанной доли водного флюида в коре и мантии региона. Данные МТЗ-МВЗ, полученные по серии пересекающихся профилей, позволили провести интерпретацию МТ полей в классе 3D моделей, учитывая стартовые 1D — 2D геоэлектрические модели, построенные на широтных профилях МТЗ в прошлые годы [6, 8]. Эти модели и результаты многолетних сейсмических и гравиметрических исследований, представленные в отчетах ОАО «Камчатгеология» (2003–2010 гг.), позволили оценить содержание в порах матрицы горной породы связанную долю флюида.

В основу геолого-тектонической модели при описании результатов интерпретации магнитотеллурических полей положены структурные построения работ [1, 2, 6, 11].

Методика интерпретации МТ данных включает в себя циклы: определение направления главных осей матрицы импедансов и ее размерности; проверки выполнения дисперсионных соотношений между инвариантными максимальными (минимальными) экспериментальными модулями импедансов и их фазами; снятие электрического шума от приповерхностных неоднородностей малого радиуса с помощью нормализации кривых максимума и минимума индукции ($\rho^{\max H}$ и $\rho^{\min H}$) [12] или фазового тензора [13] в предположении, что они получены над характерным блоком коры; построения стартовой геоэлектрической модели с помощью 1D — 2D инверсии нормализованных кривых; использование 3D математического моделирования МТ полей [5] при решении обратной задачи МТЗ / МВЗ методом подбора к экспериментальным кривым $\rho^{\max H}$, $\rho^{\min H}$ и векторам Визе-Паркинсона модельных; оценки разрешающей способности, чувствительности кривых МТЗ и векторов Визе-Паркинсона к УЭС проводящих блоков [3].

Оценка содержания связанной доли флюида ϕ_p выполнялось согласно ф Шенленда–Ваффа с учетом изменения ρ_ϕ с ростом температуры и давления с глубиной, для концентрации флюида до 10 г/л солями NaCl при $\rho_\phi = 0.5$ Ом·м на $T = 18$ °С. Оценка полной доли связанного флюида ϕ_v , ϕ_o выполнена по дефициту скорости продольных волн ΔV_p , согласно уравнению среднего времени и плотности $\Delta \sigma$ горных пород [9]. Считается, что ΔV_p и $\Delta \sigma$ на глубоких горизонтах связаны с содержанием флюида или расплава, а не с ростом силикатности пород. Применение этой методики демонстрируется на данных МТЗ — МВЗ, полученных в пределах восточной Корьякии. Для остальной территории использовались результаты 3D интерпретации МТ полей и расчеты содержания полной и связанной доли флюида приведенных в работе [3].

Построение геоэлектрической модели Камчатско-Корьякского региона на примере Восточной Корьякии, где в 2009 г. выполнено два профиля МТЗ-МВЗ: т.н. 122 — 218 (повтор точек 2004 — 2006 гг.) и т.н. 1–54 (рис. 1, 2). Западный профиль протягивается вдоль Ильпино-Тыгловаямского (И-Т) прогиба (т.н. 160–218) и выходит на Корьякское (Кн) нагорье (т.н. 122–160). Восточная ветвь профиля начинается в И-Т прогибе (т.н. 1–7), пересекает Говенско-Пылгинское (Г-Пп) поднятие (т.н. 19–30) и выходит на Говенско-Пахачинский (Г-П) прогиб (т.н. 12–18 и т.н. 47–50). На высоких и средних частотах асимметрия матрицы импеданса — $skew \leq 0.1$ (среда квазидвумерная) за исключением т.н. 1–8 и т.н. 50–54, где $skew \geq 0.2$. На низких частотах $skew \leq 0.2$ за исключением МТЗ 25–35, 50–54. Фазовая асимметрия матрицы в т.н. 1–8 и т.н. 39–50 импеданса — $\eta \approx 0.2$ — 0.25 (нижний структурный этаж трехмерный), а на

остальных т.н. — $\eta \approx 0.1$. Видно, что при решении обратной задачи нужно использовать аппарат 3D инверсии. Максимальные кривые $\rho^{\max H}$ на низких частотах ориентированы вдоль И-Т и ГП прогибов с азимутами 30–60°, но в пределах Г-Пп они разворачиваются под углом 100–110°.

На восточном профиле МВЗ на периоде $T = 40$ с зарегистрированы максимальные экспериментальные типперы ReW в т.н. 19–27 и т.н. 45–50 (рис. 2) при модельных составляющих $|W^M| = 0.3–0.4$ (при ReW^M

$\gg ImW^M$). Экспериментальные стрелки ReW в т.н. 4–20 и т.н. 45–54 показывают на избыточные токи, текущие в И-Т прогибе или под ним, а расположенные на Г-Пп поднытия — на токи, текущие южнее. В т.н. 122–135 $ReW = 0.3–0.4$ указывают на избыточный ток под Вывенской (В) впадиной (рис. 2). В т.н. 195, 197 и 199 модели $|Wz^M| = 0.2–0.5$ (рис. 36) близки к экспериментальным в т.н. 135–130, 25–28 и 49–51. Если взять значимый уровень аномалий $|Wz| > 0.1$, то близость экспериментальных $|Wz|$ к $|Wz^M|$, рассчитанных для



Рис. 1. Схема расположения экспериментальных МТЗ — МВЗ. Профили: 1 — МТЗ — МОВЗ, отработанные до 2006 г.; 2 — МТЗ — МВЗ — МОВЗ, выполненные после 2006 г. Названия профилей МТЗ: А — А — п. Апача — б. Мутная, Б-Б — г. Опала — р. Вахиль, В — В — п. Усть-Большерецк — мыс Шипунский, Г — Г — р. Коль — мыс Калыгирь, Д — Д — п. Нижняя Облуковка — г. Андриановка, Е — Е. — п. Усть-Харьюзово — мыс Африка, Ж — Ж — мыс Ухтолок — п-ов Озерновский, З — З — п. Лесная — п. Оссора, И — И — п. Тигиль — п. Лесная, К — К — п. Оссора — п. Тилички, Л — Л — п. Хаилино — р. Евъинваям, М — М — п. Хаилино — р. Пахача. По осям координат — километры (км)

модели с глубинным проводником в коре выше, чем для модели без него [3].

Аналогичный вывод дает 3D инверсия кривых МТЗ, выполненная путем подбора 3D модельных кривых $\rho^{\max HM}$, $\rho^{\min HM}$ к экспериментальным $\rho^{\max H}$, $\rho^{\min H}$ (рис. 3). Сечение полученной 3D модели в сопоставлении с 1D инверсией экспериментальных (А), модельных (Б) кривых $\rho^{\max H}$ и вынесенными сейсмическими границами (метод МОВЗ) представлено на рис. 4. На стартовый 1D разрез вынесены результирующие блоки 3D модели, полученные по 3D инверсии кривых $\rho^{\max H}$ и $\rho^{\min H}$ на профиле пос. Верхнее-Пенжино — пос. Хаилино — р. Пахача (рис. 1). Результаты оценки содержания флюида в матрице горных пород представлены в таблице.

Флюидонасыщенность южной части Камчатского п-ова.

В Южно-Камчатском прогибе на глубинах свыше 10–15 км блоки с $\rho = 10$ Ом·м имеют $\phi_p = 1.2–1.4\%$ (зона 5, рис. 5) [3]. Они расположены выше доменов, характеризующихся дефицитом скорости, плотности с $\Delta\sigma = 0.03$ г/см³ (пр. Б — Б) и с $\Delta\sigma = 0.05$ г/см³ (пр. А — А), погружающихся от Прибрежного горста Пр на запад с 30 до 70 км [2] соответственно с флюидонасыщенностью $\phi_\sigma = 1.5$ и 2.5 % [3]. Граница Мохо расположена глубже 30 км.

В пределах субмеридионального вулканического пояса на западном борту Пр горста (т.н. 20–25) глубинные разломы Ас, ББ, Хд и Вл

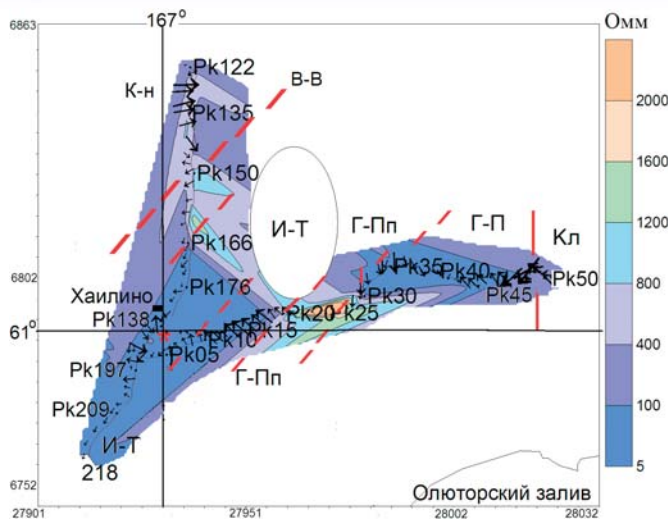


Рис. 2. Распределение на периоде $T = 35$ с вещественных стрелок типпера в Восточной Корее. Структуры: К-н — Корякское нагорье, И-Т — Ильино-Тылговаямский прогиб, Г-Пп — Говенско-Пылгинское поднятие, Г-П — Говенско-Пахачинский прогиб, Кл — Калинайское поднятие, В-В — Вывенско-Ватынский разлом. Цифры — номера МТЗ — МВЗ. Максимальная длина стрелки $|W_{max}| = 0.5$. Справа — шкала УЭС. Звезда — эпицентр Олюторского землетрясения от 20.04.2008 с $M = 7.8$

субширотного и северо-западного простирания (рис. 1, 5), вдоль которых происходили сдвиги коры, характеризуются блоками с $\rho = 500\text{--}100$ Ом·м. В них связанная доля флюида не превышает 0.04–0.01 %. На глубинах 60–80 км они упираются в проводящий астеносферный выступ с $\rho_a = 10\text{--}50$ Ом·м [3] ($\phi_p = 0.3\text{--}0.05$ %). В этом выступе наблюдается повышенное поглощение сейсмических волн и понижение скоростей продольных волн до $V_p = 7.5\text{--}7.6$ км/с при средней $V_p = 7.6\text{--}7.8$ км/с [10], что дает флюидонасыщенность — $\phi_v = 0.3\text{--}0.6$ %, близкую к ϕ_p при $\rho_a = 10$ Ом·м. В местах пересечения субширотных разломов с разломом северо-восточного простирания, ограничивающим с запада Пр горст, расположены гидротермальные поля и вулканы.

В Начикинской (Н) зоне под т.н. 60–82 (пр. Б — Б) выделен проводящий домен (зона 4, рис. 5) шириной 10 км, мощностью 30 км с $\rho = 25$ Ом·м ($\phi_p = 0.6\text{--}0.2$ %). На глубине $H = 40$ км (граница Мохо) разрез подстилается блоком с $\rho = 40\text{--}60$ Ом·м (расплав ?), что при $\rho_p = 0.03$ Ом·м дает $\phi_p \approx 0.1$ %. По данным МОВЗ и сейсмической томографии [10] здесь выделяются и домены с дефицитом скорости на глубинах: $H = 10$ км с $\Delta V_p = 0.1\text{--}0.2$ км/с, что при $V_f = 1.7$ км/с и фоновом $V_p = 5.6$ км/с дает $\phi_v = 0.75\text{--}1.55$ %; $H = 15$ км с $\Delta V_p = 0.3\text{--}0.4$ км/с при фоновом $V_p = 5.8\text{--}5.9$ км/с дает $\phi_v = 2.6\text{--}3.2$ %; $H = 30\text{--}40$ км с $\Delta V_p = 0.4$ км/с и фоновом $V_p = 7.1$ км/с — $\phi_v = 2$ %. Содержание флюида, оцененное по $\Delta\sigma = 0.03$ г/см³ на $H > 40$ км, $\phi_\sigma = 1.5$ %. Высокие значения ϕ_v и ϕ_σ по сравнению с ϕ_p свидетельствует о слабой связанности флюида в коре. В альтернативном варианте — ΔV_p вызвано расплавом, содержание жидкой фракции ϕ_v возрастет втрое, а отклонение от ϕ_σ и ϕ_p увеличится, что делает его маловероятным.

Коровый и мантийный разрез под ОВК и Ганальским выступом (пр. В-В, зона 6) содержит глубже 40 км блок

с $\rho = 40$ Ом·м ($\phi_p = 0.15$ %), а астеносфера на востоке Авачинско-Китхойской зоны (с $\phi_v = 0.3\text{--}0.5$ %) на $H = 50\text{--}70$ км имеет $\rho = 70\text{--}30$ Ом·м ($\phi_p = 0.1\text{--}0.15$ %). Глубже 40 км и восточнее МТЗ 90 (пр. Г — Г, рис. 1) выделены протяженностью 100 км блоки с $\Delta\sigma = -0.03$ г/см³, что может отвечать $\phi_\sigma = 1.5$ % близким к ϕ_v и с более высоким содержанием всей доли флюида, чем его связанной части ϕ_p .

Олюторско-Восточно-Камчатская СФЗ

В пределах ОВК выделены проводники, разделяющие Срединный выступ на блоки, совпадающие с положением гравиметрических ступеней. Восточнее выделяются повышенной проводимости глубинные разломы: Кагнисинско-Каримский (МТЗ 132–138), Унанский и Петропавловский (МТЗ 165–173), Крестовский (55–60), Усть-Камчатский (327–330), Хайрюзовский (МТЗ 339–341) с $\phi_p = 0.3\text{--}1$ % [3]. У разломов Кр (МТЗ 289–290, 298–301) и под вулканом Шивелуч (Ши) — $\rho = 10\text{--}20$ Ом·м (МТЗ 311–314), а у У-К (327–330) и Ха (МТЗ 336–338) — $\rho = 66\text{--}100$ Ом·м. Разлом Ши с $\rho = 10$ Ом·м вблизи границы Мохо имеет $\phi_p \approx 0.5$ %, на глубине $H = 15\text{--}20$ км — $\phi_p \approx 0.8$ %, на $H = 7\text{--}10$ км — $\phi_p \approx 1.5$ % и на $H = 5$ км — $\phi_p = 3$ %. В блоке с $\rho = 20$ Ом·м, расположенном южнее (МТЗ 298 — 302), ϕ_p уменьшается вдвое, а у разлома У-К — $\phi_p < 0.2$ %. Под южной частью Шивелучской долины в доменах верхней мантии $\Delta V_p = 0.2$ км/с [10], а вне их — $V_p = 7.8$ км/с, что дает $\phi_v = 0.6$ %, близкие к ϕ_p . Севернее У-К разлома (зона 2, рис. 5), глубже 50 км, породы верхней мантии с $\rho = 150$ Ом·м характеризуются $\phi_p = 0.035$ %, что находит свое отражение в уменьшении сейсмической активности.

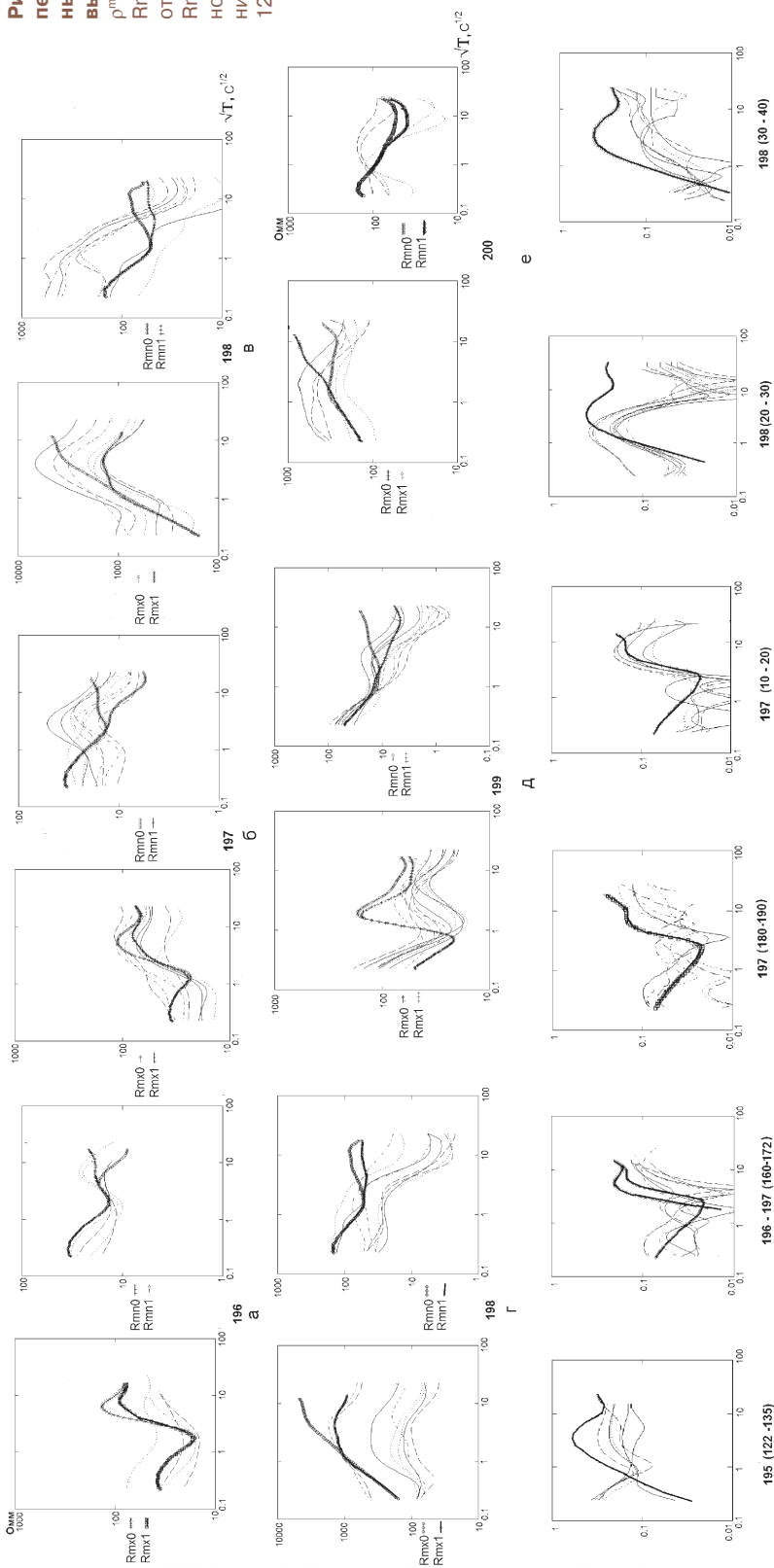
От Крестовского разлома до Ключевой группы вулканов [3, 8] на глубинах 10–20 км протягивается блок с $\rho = 20\text{--}10$ Ом·м, который на глубинах $H = 10\text{--}15$ км имеет $\phi_p = 1$ % и на $H = 20\text{--}35$ км — 0.5–0.6 % (зона 3, рис. 5). Здесь же расположен домен с $\Delta V_p = 1.3$ км/с [10], что при $V_p = 6.6$ км/с в окружающих его породах дает $\phi_v = 6\text{--}7$ %.

Проводящая мантия под ОВК (пр. Е-Е, Д-Д, Б-Б, зона 6) на $H > 40$ км имеет $\rho = 30\text{--}80$ Ом·м ($\phi_p = 0.1\text{--}0.17$ %) и при $\Delta V_p = 0.2$ км/с [10], $V_p = 7.8$ км/с (вне этого блока) получаем $\phi_v = 0.6$ %. Наблюдаемый здесь дефицит плотности $\Delta\sigma = 0.05$ г/см³ может соответствовать флюидонасыщенности с $\phi_\sigma = 2.5$ %. Если же ΔV_p связано с базальтовой выплавкой с $V_p = 3$ км/с [9], то насыщенность пород расплавом достигает 1.6–2.6 %. При проводимости выплавки $\rho_{bv} = 0.1$ Ом·м и 50 % ее связанности в горной породе понижение УЭС в мантии должно уменьшиться в пять раз (в отличие от модели с ее полной связанностью), что при выплавки в 1.6–2.6 % должно давать $\rho = 25\text{--}40$ Ом·м. Эти значения близки к полученным выше оценкам УЭС.

Камчатский перешеек

Западная часть Камчатского перешейка (П-З-К) сопрягается с У-С массивом через расположенный на глубинах от 10 до 50 км (МТЗ 351–390) блок с $\rho = 100$ Ом·м с $\phi_p = 0.06\text{--}0.2$ % (зона 11, рис. 5). Под МТЗ 425–430 блок с $\rho = 33$ Ом·м с кровлей на $H_{cr} = 5$ км и подошвой на $H = 30$ км протягивается до восточного побережья к т.н. 464–470. Эти блоки, возможно, отражают насыщенные флюидом ($\phi_p = 0.45\text{--}0.13$) разломов МП1, Км, У-К

Рис. 3. Сопоставление экспериментальных и модельных (широкие линии) кривых: верхние два ряда — $\rho_{\text{max}}^{\text{плит}}$, $\rho_{\text{min}}^{\text{плит}}$ в т.н. 1—54. Кривые Rmx1, Rmx0 (номера под картами) отвечают модели на рис. 4б, Rmx0, Rmx1 — та же модель, но без коровых проводников; нижний ряд — $|W_{\text{zk}}|$ в т.н. 122—190 и 10—54 (в скобках)



[б] и зон повышенной сейсмичности северо-восточного простирания (МТЗ 351–390). На восточном побережье под Кч впадиной на $H > 20$ км под МТЗ 510–530 выделены блоки с $\rho = 20$ Ом·м, ($\phi_p = 0.4–0.6$ %) (зона 8, рис. 5). Глубинный разлом под МТЗ 550–562 представлен блоком с $\rho = 40$ Ом·м. Он отражает влияние разлома МП2 с $\phi_p = 0.5\%–0.1\%$ для глубин от 5 до 40 км.

Корякия

Северная граница Пенжинской-Западно-Камчатской (П-З-К) СФЗ по ОМ разлому, характеризующемуся с глубины 10 км УЭС в 100 Ом·м ($\phi_p = 0.15–0.05$ %) граничит с Мургайским блоком Омолонского массива (зона 12, рис. 5). Под Парапольско-Пусторецким (П-П) прогибом на $H = 30–50$ км расположен блок с $\rho = 30–40$ Ом·м (зона 9, рис. 5), что соответствует $\phi_p = 0.3–0.2$ %. В Укэлятско-Срединном (У-С) массиве в пределах Корякского (Кн) нагорья проводящие породы с $\rho = 100–75$ Ом·м ($\phi_p = 0.15–0.2$ %) залегают глубже 8 км (зона 10, рис. 5). Они совпадают с положением осадочно-вулканогенных образований, расположенных под терригенными отложениями [1].

В О-В-К СФЗ под Ильпино-Тыгловаяямским (И-Т) прогибом в пределах Олюторского (с $M = 7.8$, 2006 г.) и Хаилинского землетрясений (с $M = 7.0$, 1991 г.) и под Г-П прогибом выделен с $H = 15$ до 25 км блок (зона 1, рис. 4, 5) с $\rho = 30$ Ом·м ($\phi_p = 0.3–0.5$ %), а под И-Т глубже 35 км с $\rho = 100$ Ом·м ($\phi_p = 0.1–0.05$ %). Здесь же наблюдается резкий перепад границ обмена в коре, повышенное поглощение сейсмических волн (до $900 \cdot 10^{-6} \text{ м}^{-1}$), а граница Мохо (по данным МОВЗ) воздымается с глубины 40–45 км (Кн) до 25–30 км (И-Т). На этих же глубинах избыточная плотность пород составляет 0.2 г/см^3 , что также может свидетельствовать о подъеме мантийных пород [1, 4].

Заключение

Полученные выводы (таблица, рис. 5) о распределении УЭС и содержании флюида в коре и мантии Камчатско-Корякского региона позволяют объяснить с позиций геодинамики отдельные элементы его тектонического строения. Видно, что в зонах активной вулканической деятельности содержание связанной доли флюида (максимальная проницаемость коры) — $\phi_p \geq 1–2$ %, в очаговых зонах землетрясений $0.2 \leq \phi_p \leq 0.5$ %. В областях активизации трансформных (субширотных, северо-западного простирания) разломов Камчатского полуострова, вдоль которых развиты сдвиговые подвижки — $\phi_p \leq 0.1$ %. Глубинные разломы в зонах сопряжения плит и СФЗ имеют $\phi_p = 0.2–0.14$ %, а астенолиты верхней мантии — $\phi_p \approx 0.1$ %. Рассмотрим эти примеры.

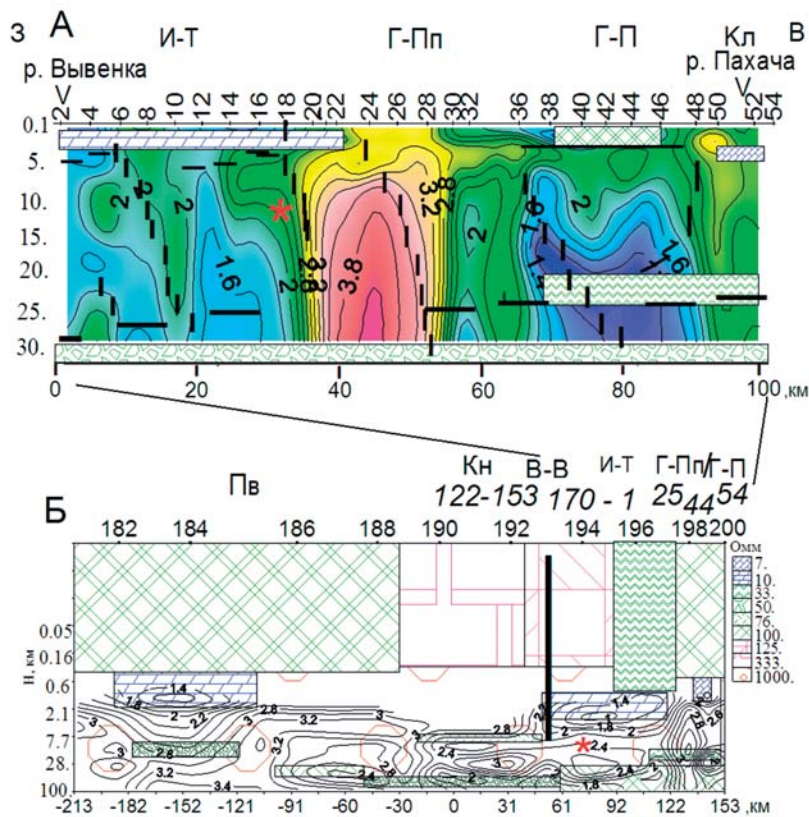
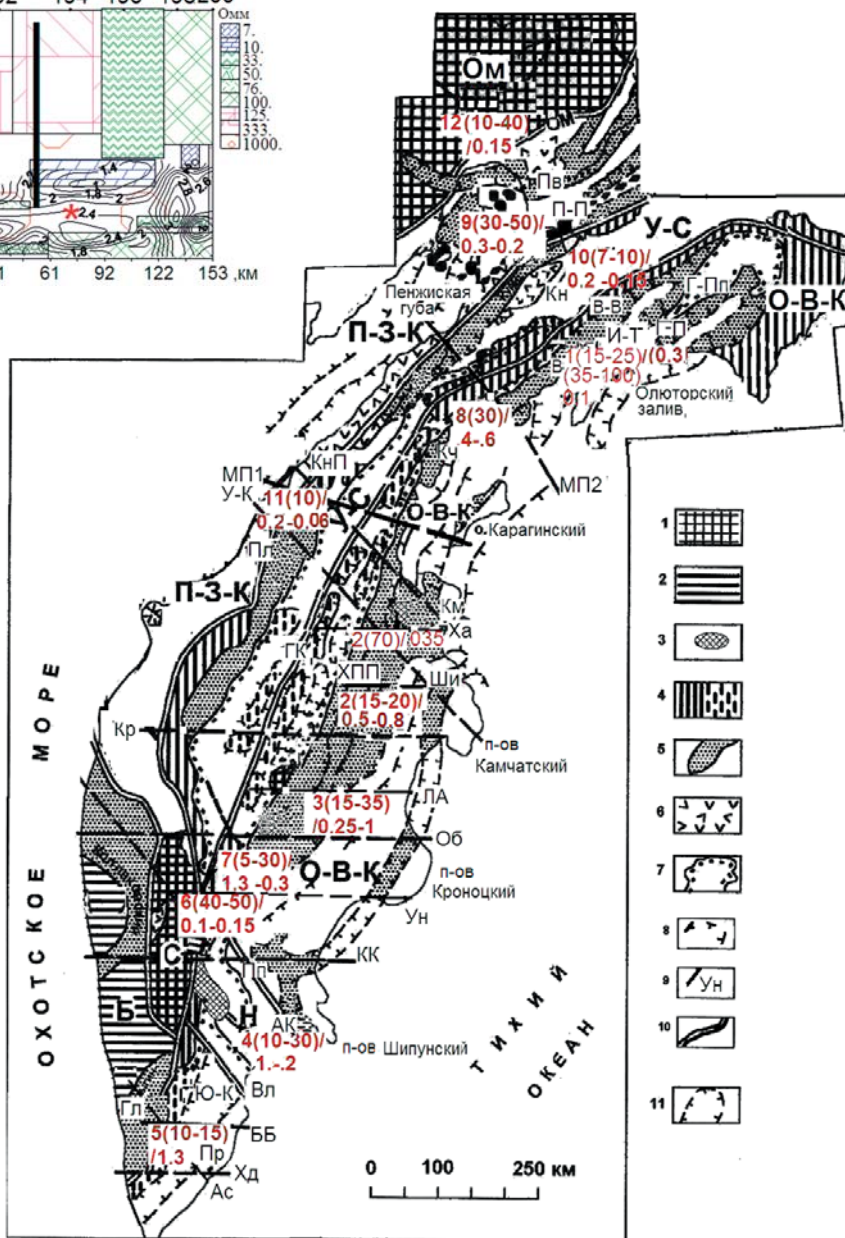


Рис. 4. Геоэлектрический разрез на профиле пос. Хаилино — р. Пахача, построенный по 1D инверсии кривых $\rho_{\text{max}}^{\text{H}}$ и с вынесенными проводящими блоками 3D модели (А), сечение 3D модели по профилю пос. Верхнее Пенжино — пос. Хаилино — р. Пахача (Б). Названия структур см. на рис. 2. По данным МОВЗ вынесены: разломы — вертикальные линии, граница М — горизонтальные широкие линии, кровля складчатого основания — тонкие линии. Звездочка — гипоцентр Олюторского землетрясения. Расстояния — в км. Изолинии — 1D инверсия кривых $\rho_{\text{max}}^{\text{H}}$ (А) и $\rho_{\text{max}}^{\text{HM}}$ (Б). Вертикальный масштаб для: а — линейный, б — логарифмический. Справа от модели — шкала УЭС

Рис. 5. Схема тектонического районирования Камчатки и распределение флюидонасыщенности [1]: 1 — срединные массивы; 2 — области с платформенным строением; 3 — породы мафического ряда Ганальского выступа; 4 — районы распространения верхнемеловых офиолитовых формаций; 5 — кайнозойские прогибы; 6 — вулканы Западно-Камчатско-Корякского пояса; 7 — границы Центрально-Камчатского вулканического пояса — ЦКВП; 8 — границы поднятий, впадин, СФЗ и их названия: **ОМ** — Омолонский массив, **П-З-К** — Пенжинско-Западно-Камчатская, **У-С** — Укэляятско-Срединный массив, **С** — Срединный выступ, **Н** — Начинская зона, **О-В-К** — Олюторско-Восточно-Камчатская СФЗ. Структуры второго порядка: **Пр** — Прибрежный горст, **Ю-К** — Южно-Камчатский прогиб, **АК** — Авачинско-Китхойская зона, **ХПП** — Хавывенское погребенное поднятие, **Пв** — Пенжинская впадина, **Кн** — Корякское нагорье, **В** — Вывенская впадина, **И-Т** — Ильпино-Тыгловаяямский прогиб, **Г-Пп** — Говенско-Пылгинское поднятие, **Г-П** — Говенско-Пахачинский прогиб; 9 — глубинные разломы: **ОМ** — Орловско-Микинский, **ГК** — Главный Камчатский, **Ас** — Асачинский, **Пп** — Петропавловский, **Вл** — Вилючинский, **ББ** — Больше-Банний, **Об** — Облуковский, **Хд** — Ходутковский, **КК** — Кагнисинско-Карымский, **Ха** — Харьюзовский, **Ун** — Унанский, **Ши** — Шивелучский, **ЛА** — Лаучан-Андреановский, **Км** — Командорский, **У-К** — Усть-Камчатский, **В-В** Вывенско-Ватынский, **Кр** — Крестовский, **МП1**, **МП2** — межплитные разломы; 10 — границы главных тектонических элементов; 11 — границы горстов и грабенов. Красным цветом дано: в числителе — номер структурной единицы (см. таблицу), а в скобках — расчетная глубина, в знаменателе содержание флюида



Структуры, их номера на рис. 5	Глубина (км) кровли проводников	УЭС коровых проводников, Ом	Связанная доля флюида — по УЭС, Φ_p , %	ΔV , км/с; $\Delta\sigma$, г/см ³ полная доля в % флюида, Φ_v , Φ_σ
Разломы Асачинский Больше-Баный Ходутковский	3–5 10 20 35 50	100–400	$\Phi_p = 0.23-0.05$ $\Phi_p = 0.15-0.037$ $\Phi_p = 0.07-0.018$ $\Phi_p = 0.05-0.012$ $\Phi_p = 0.04-0.01$	
Астеносфера под горстом Пр	80–60	10–50	$\Phi_p = 0.3-0.05$	$\Delta V = 0.2-0.3$, $\Phi_v = 0.3-0.6$
Начикинская зона (МТЗ 60-84), зона N = 4	10 20 30 50	25 (10) 25 25 40–60	$\Phi_p = (1.5)-0.6$ $\Phi_p = 0.25$ $\Phi_p = 0.2$ $\Phi_p = 0.1$	0.3–4, $\Phi_v = 1.6$ 0.3–0.4, $\Phi_v = 3$ 0.4, $\Phi_v = 2$ $\Delta\sigma = 0.3$, $\Phi_\sigma = 1.5$
Южно-Камчатский прогиб, N = 5	10–15 астеносфера	10 Ом	$\Phi_p = 1.4-1.2$	$\Delta\sigma = 0.5$, $\Phi_\sigma = 2.5$
ЦКВП, зона N = 6, Ганальский выступ	40–50 км	40–50	$\Phi_p = 0.1-0.15$	$\Phi_v = 0.3-0.2$ $\Delta\sigma = 0.03$, $\Phi_\sigma = 1.5$
АК зона, N = 6	N = 70–80 км	70–30	$\Phi_p = 0.05-0.1$	$\Phi_v = 0.3$
разломы: КК, МТЗ 132-138; Ун, МТЗ 165-174, N = 7; Кр т. 55-60, У-К, Ха	2–30 км 5 км 10 км 20 км 30 км	20	$\Phi_p = 1.3$ $\Phi_p = 0.75$ $\Phi_p = 0.35$ $\Phi_p = 0.28$	
О-В-К (пр. Ж –Ж)	N = 40 км N = 10–15 км	30–50 20–60	$\Phi_p = 0.1-0.17$ $\Phi_p = 0.75-0.1$	$\Delta V = 0.2$, $\Delta\sigma = 0.05$, $\Phi_v = 7$, $\Phi_\sigma = 2.5$
Вулкан Ключевская сопка, N = 3	N = 15–20 км N = 25–35 км	20–10	$\Phi_p = 0.35-0.9$ $\Phi_p = 0.25-0.5$	$\Phi_v = 6-7$
О-В-К, восток пр. Ж - Ж	N = 40 км	80	$\Phi_p = 0.031-0.07$	$\Delta V = 0.2$, $\Phi_v = 0.6$ $\Delta\sigma = 0.05$, $\Phi_\sigma = 2.5$
N = 2, разломы: Ши Пх-О; Ха Севернее У-К	N = 2–40 км N = 1–40; 20–40 N > 60 км	10 66; 100 $\rho = 150$ Ом	$\Phi_p = 0.5-3$ $\Phi_p = 0.6-0.05$ $\Phi_p = 0.035$	$\Delta V = 0.2$, $\Phi_v = 0.6$
Разломы: МП1 МТЗ 425 - 435, 464 - 471; МП2, МТЗ 550 - 562	N = 5–30 км 5 км 10 км 30 км	$\rho = 20-28$ (МП1) $\rho = 40$ (МП2)	МП2, МП1 $\Phi_p = .45, 0.95-85$ $\Phi_p = 0.3, 0.65-6$ $\Phi_p = 0.13, 3-26$	
Перешеек N = 11 Кч, N = 8	N = 10–50 км N = 20–50 км	$\rho = 100$ $\rho = 20$	$\Phi_p = 0.2-0.06$ $\Phi_p = 0.8-0.4$	
П-З-К, N=9, П-П ОМ, N = 12	N = 30–50 км 10–40 км	$\rho = 30$ $\rho = 100$	$\Phi_p = 0.3-0.2$ $\Phi_p = 0.15-0.05$	
О-В-К, N = 1, Г-П, И-Т	N = 15–25 км N = 35–100 км	$\rho = 33$ $\rho = 100$	$\Phi_p = 0.3-0.4$ $\Phi_p = 0.1-0.05$	
У-С, N = 10, Кн	N = 8 км	$\rho = 80-100$	$\Phi_p = 0.15-0.2$	

Юго-восточная часть Камчатского п-ова, зона подвига океанической коры, где на переднем фланге расположен горст — Пр с $\rho = 50000$ Ом, сложенный вулканогенными и интрузивными породами, раздроблен субширотными, слабонасыщенными флюидами разломами. В задуговом бассейне (Ю-К) с пониженной мощностью коры имеем повышенное содержание Φ_p , обусловленное сейсмичностью и гидротермальной активностью вулканического генезиса.

Повышенное содержание флюида Φ_v , Φ_σ и малая доля его связанности Φ_p в коре и верхней мантии Начикинской зоны отражает продолжение Императорского палеорифта [7], что может быть обусловлено растягивающими напряжениями в коре и мантии.

Южнее Усть-Камчатского и Харьюзовского разломов (продолжении на суше границы между Беринговой и Тихоокеанской плитами) сейсмичность и вулканиче-

ская активность значительно возрастают, что отражается в увеличении проводимости коры и флюидонасыщенности разломов. Они являются сейсмогенерирующими структурами [11]. В окрестности Шивелучского разлома ($\Phi_p = 0.5-3$ %) на глубинах $5 < N < 30$ км концентрируются гипоцентры землетрясений. Под зоной Шивелучского вулкана граница Мохо воздымается с глубины 41 км до 33 км.

Под восточным побережьем Камчатки глубже 30 км выделены проводящие астеносферные блоки (диапиры?), а максимальное содержание водного флюида связано с пересечением глубинных активизированных структур, северо-западного и северо-восточного направлений (Мутновское гидротермальное поле, Авачинская группа вулканов и др.). Они коррелируют с областями пониженной плотности, скорости, пониженной прозрачности обменных волн. В отдельных случаях возможен и вариант внедрения мантийных расплавов (зона 6, рис. 5).

Повышенное содержание флюида в коре восточного побережья Камчатского перешейка возможно связано с его сейсмичностью, которая наблюдается и в Вывенской впадине, где произошли катастрофические зем-

летрясения в 1988, 1991 и 2006 гг.

В Вывенской впадине и Ильпино-Тылготованском прогибе максимальные сейсмические события приурочены к участкам пересечения разнонаправленных разломов в северной части впадины. Их положение близко к областям высокой флюидонасыщенности Φ_p [4], на которых разряжается энергия, накопленная в процессе упругих напряжений. Здесь же «аномальная» мантия поднимается с глубины 40 до 25 км, образуя линзу низких УЭС толщиной 20–30 км, проявляющихся под Олоторской очаговой зоной землетрясений повышенным поглощением обменных волн [4].

Знание распределения флюидонасыщенности — зон повышенной проницаемости коры, позволяет понять природу локальной, региональной сейсмичности, оценить сейсмическую опасность регионов и прогнозировать наличие наиболее минерализованных блоков коры.

Это позволяет ориентировать геологоразведочные работы и при поиске рудных полезных ископаемых.

Автор выражает признательность коллективам ОАО «Камчатгеология», ООО «Северо-Запад» и Центру «ГЕОН» ГФУП ВНИИГеофизика за предоставленные материалы и помощь в работе над статьей.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Апрелков, С.Е.* Тектоника Камчатки / С.Е. Апрелков, О.Н. Ольшанская, Г.И. Иванова // Тихоокеанская геология. — 1991. — № 3. — С. 62–74.
2. *Апрелков, С.Е.* Природа аномальной силы тяжести в Центрально-Камчатской депрессии / Глубинное моделирование геологических структур по гравиметрическим и магнитным данным / С.Е. Апрелков, Л.М. Смирнов, О.Н. Ольшанская. — Владивосток, 1985. — С. 8–71.
3. *Белявский, В.В.* Геоэлектрическая модель Камчатско-Корякского региона. 3D интерпретация магнитотеллурических полей и результаты. — LAP LAMBERT Academic Publishing, Germany. — Saarbrücken. — 2011. — 163 с.
4. *Белявский, В.В.* Сейсмогеоэлектрическая модель Охотско-Чукотского вулканогенного пояса и Центрально-Корякской складчатой зоны по профилю Корф — Верхнее Пенжино / В.В. Белявский, Е.Е. Золотов, В.А. Ракилов // Геофизика. — 2008. — № 2. — С. 32–44.
5. *Друскин, В.Л.* Система программ расчета электромагнитного поля в трехмерно-неоднородной среде МАХЗМТ / В.Л. Друскин, Л.А. Книжнерман. — М.: ОМП, ЦГЭ, 1997. — 22 с.
6. *Мишин, В.В.* Палеосубокеанический тип земной коры на северо-востоке Камчатки / В.В. Мишин, А.Г. Нурмухамедов, С.П. Белоусов // Тихоокеанская геология. — 2003. — Т. 22. — № 5. — С. 58 — 72.
7. *Мелихов, В.Р.* Тектонические катастрофы и их место в эволюционном развитии Земли / В.Р. Мелихов, И.В. Лыгин // Геофизика. — 2008.
8. *Нурмухамедов, А.Г.* Глубинное строение Северо-Восточной части Корякско-Камчатской складчатой области по геофизическим данным: автореферат дис. на соискание ученой степени кандидата геол.-мин. наук. — Иркутск, 2010.
9. *Физические свойства горных пород и полезных ископаемых (петрофизика): справ. геофизика / Под ред. Н.В. Дортмана. — М.: Недра, 1984. — 455 с.*
10. *Федотов, С.А.* Магматические питающие системы и механизм извержений вулканов. — М.: Наука, 2006. — 455 с.
11. *Шарапова, Н.В.* Структура и геодинамика сейсмофокальной зоны Курило-Камчатского региона // Н.В. Шарапова, И.Г. Симбирева, П.М. Бондаренко. — Новосибирск: Наука. Сиб. отд., 1984. — 198 с.
12. *Counil, J.L.* Associate and conjugate directions concepts in magnetotellurics J.L. Counil et al. // Annales Geophysicae. — 1986. — 4B, 2. — P. 115 — 130.
13. *Galdwell, T.G.* The magnetotelluric phase tensor / T. Galdwell et al. // Geophys. J Int. — 2003. — 158. — P. 457 — 469.

© Белявский В.В., 2016

Белявский Виктор Владимирович // viktor.belyavsky@list.ru

УДК 550.835

Татьков И.Г., Татьков Г.И., Бадерин А.М., Татьков П.Г., Астахов Н.Е. (ГИН СО РАН), Зуккау Г.Л. (ЗАО «Витим-геопром»)

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ РАБОТ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ МОЛОДОГО НЕРАВНОВЕСНОГО УРАНА В ВИТИМО-КАРЕНГСКОМ РАЙОНЕ

По результатам опытно-методических работ на территории Витимо-Каренгского района были установлены критерии выделения нового типа близповерхностных месторождений неравновесных урановых руд в физических полях. Основной характеристикой рудной зоны является неравновесное состояние между ураном и продуктами его распада, что не позволяет эффективно применять классические методы радиометрии и гамма-спектрометрии,

*основанной на измерении γ -излучения. Изучение геофизическими методами рудных зон основывается на картировании интенсивных площадных или сближенных точечных аномалий радиоактивности преимущественно урановой природы, коррелирующих с приповерхностными аномалиями повышенных значений проводимости и поляризуемости в зонах прибортовых тектонических нарушений, а также контрастных геохимических аномалий содержания урана в аллювиальных отложениях и радоновых аномалий. Сформирована статистическая поисковая физико-геологическая модель, позволяющая определить параметры элементов переноса и локализации перспективных геохимических барьеров в приповерхностном слое, характерном для территории Забайкалья. **Ключевые слова:** геофизика, радиометрия, гамма-спектрометрия, электро-разведка, инверсия, электротомография, близповерхностные месторождения, неравновесный уран, Забайкалье.*

Tatkov I.G., **Tatkov G.I.**, Baderin A.M., Tatkov P.G., Astakhov N.E. (GIN SO RAN), Zukkau G.L. (Vitimgeoprom)

APPLICATION OF INTEGRATED GEOPHYSICAL WORK FOR THE STUDY OF URANIUM DEPOSITS YOUNG NONEQUILIBRIUM IN VITIM-KARENGSK AREA

*According to the results of research and methodological work in the territory of Vitim-Karengsk district criteria for selection of a new type of non-equilibrium subsurface deposits of uranium were installed in the physical fields. The main characteristic of the zone is a non-equilibrium state between uranium and its decay products, which does not effectively apply the classical methods of radiometric and gamma-spectrometry based on the measurement of gamma-radiation. The study of geophysical methods of ozones have based on the mapping of the intensive areal or point contiguous anomalies radioactivity mostly natural uranium, near-surface anomalies correlate with higher conductivity and polarizability values in zones of tectonic disturbances contrasting geochemical anomalies of uranium contents in alluvial deposits and radon anomalies. There is formed a statistical search of physical and geological model to determine the size and location of the transfer elements promising geochemical barriers in the surface layer characteristic of the Trans-Baikal Territory. **Keywords:** Geophysics, radiometry, gamma spectrometry, electromagnetics, inversion, electron tomography, near-surface deposits, uranium disequilibrium, Baikal.*

Развитие Хиагдинского ГОКа в Республике Бурятия позволило обратить внимание на относительно новый источник урановых руд, ранее считавшийся малоперспективным для территории Забайкалья — поверхностное оруденение неравновесного гидрогенного урана. Одним из возможных источников восполнения запасов является Каренгская потенциально ураноносная площадь с пятью известными рудопроявлениями приповерхностного урана в аллювиальных отложениях современных пойм и надпойменных террас, выделенная в 1984–1988 гг. в результате аэрогамма-спектрометрических (АГСМ) съемок масштаба 1:25000 ПГО «Читагеология» и включавшая более 50 локальных аномалий на территории Тунгокоченского района (Забайкальский край), пять из которых при последующей заверке геохимическими методами были переведены в разряд перспективных рудопроявлений урана.