

ПАРАМЕТРЫ МАГНИТОАКТИВНОГО СЛОЯ ЛИТОСФЕРЫ ПОД ПОЛУОСТРОВОВОМ ТАЙМЫР

А.И. Филиппова^{1,2}, С.В. Филиппов^{1,2}

¹Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова, г. Москва, г. Троицк

²Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН, г. Москва



XXIV Уральская молодежная научная школа по геофизике

20– 24 марта 2023 г.,

г. Пермь

Введение

Задачи работы

Основная задача работы состоит в определении глубины залегания нижней границы литосферных магнитных источников под полуостровом Таймыр и прилегающими к нему территориями (70° – 80° N, 80° – 115° E) (рис. 1). По этим данным нами оценивается степень прогрева литосферы с учетом того, что полученные значения соответствуют глубинам, на которых достигается температура точки Кюри входящих в состав литосферы магнитных минералов, основным из которых является магнетит с температурой точки Кюри 578°C (Langel and Hinze, 1998).

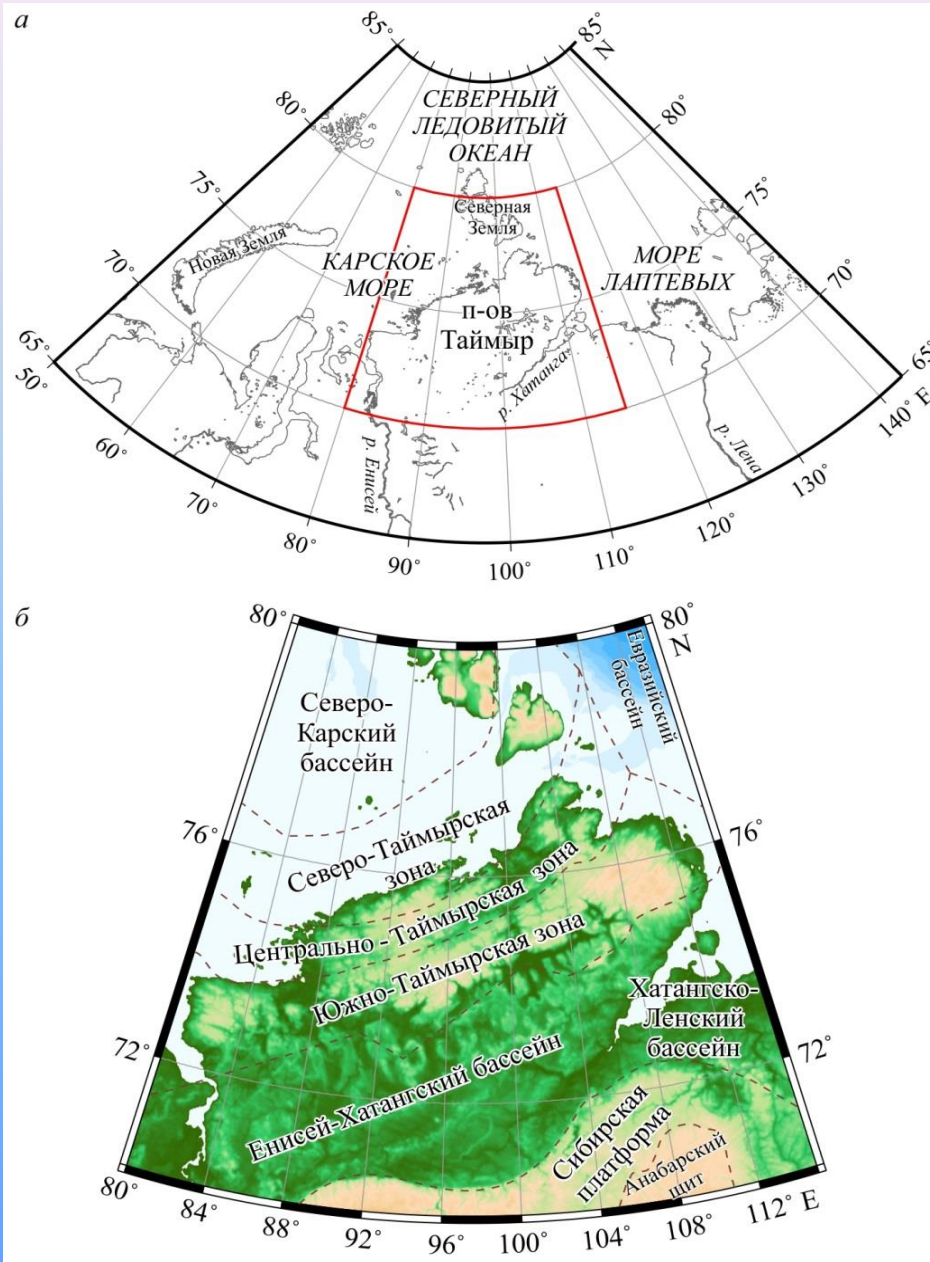


Рис. 1. Положение области исследования (а) и ее тектоническая схема (б) по (Афанасенков и др., 2016).

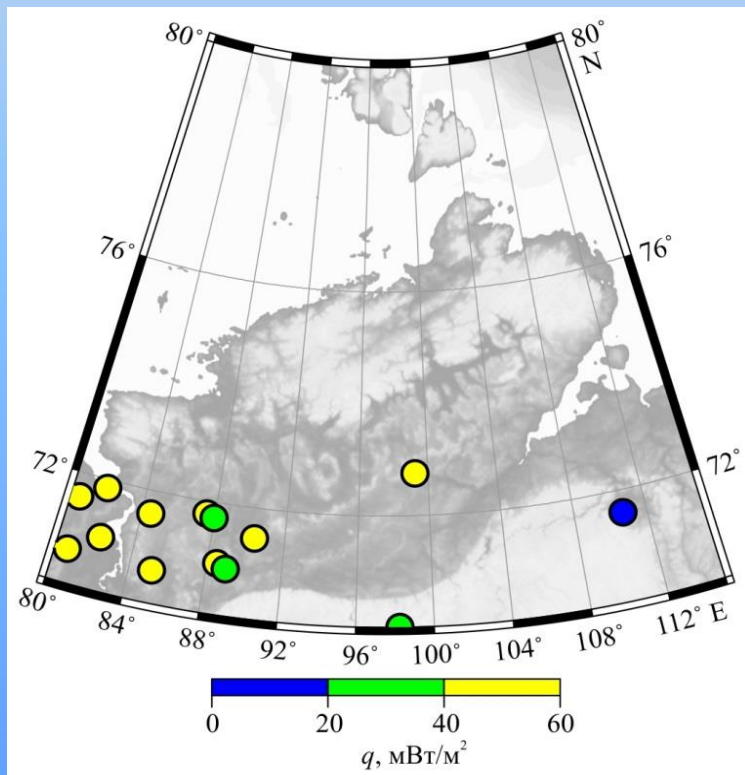
Актуальность исследования

Оценки литосферных температур используются для

1. Решения задач современной геодинамики и реконструкции состояния земных недр в прошлом;
2. Решения практических задач, например, связанных с нефтегазоносностью или обнаружения областей, пригодных для использования термальной энергии.

Подходы к оценке литосферных температур

1. Расчет геотерм по тепловому потоку (*Goes et al. 2020*);
2. По данным о мантийных ксенолитах (например, в модели ТС 1 (*Artemieva, 2006*));
3. Петрофизическое моделирование ($V_s \rightarrow T$, например, *Lebedev et al., 2017*);
4. По распределению гипоцентров землетрясений (*Sibson 1982, 1984*);
5. По геомагнитным данным (данная работа и многие другие).



Предыдущие исследования

1. (*Li et al., 2017; Gard, Hasterok, 2021*) – глобальные распределения глубины нижней границы;
2. (*Lu et al., 2022*) – распределение глубины нижней границы для всей Арктики.

Получены разными методами и по разным исходным данным. Непосредственно для Таймыра разница глубин по имеющимся моделям достигает ~20 км.

Рис. 2. Поверхностный тепловой поток исследуемой территории (*Fuchs et al., 2021*).

Исходные данные и методы

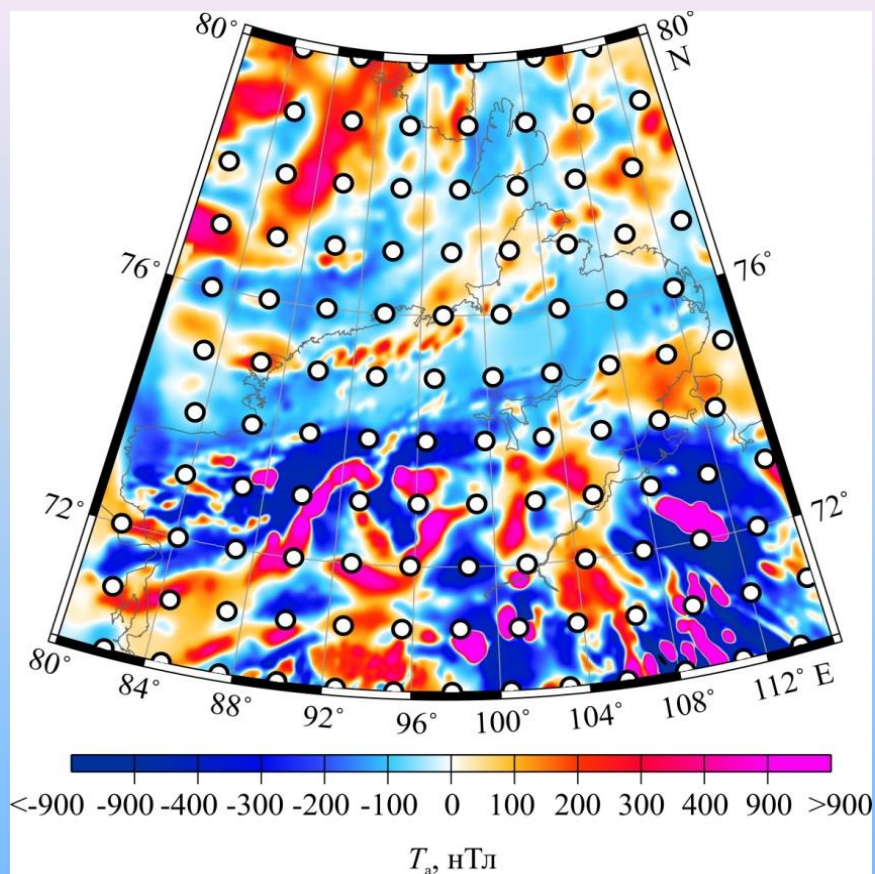


Рис. 2. Исходные данные: литосферное геомагнитное поле на высоте 4 км согласно модели EMAG2v3 (Meyer et al., 2017). Горизонтальное разрешение модели - 2 угловые минуты. Кружками обозначены центральные точки блоков 200 x 200 км, в пределах которых выполнялся спектральный анализ.

Геомагнитное поле =
главное поле (95%) +
аномальное (литосферное) поле (4%) +
внешнее поле (1%)
(Яновский, 1978)

Распределение намагниченности в МАС

1. Случайное

(Spector and Grant, 1970; Bhattacharyya and Leu, 1975; Okubo et al., 1985; Tanaka et al., 1999; Finn and Ravat, 2004; Ravat, 2004; Ravat et al., 2007)

Определяемые параметры:
глубины Z_t , Z_0 , Z_b

2. Фрактальное

(Maus and Dimri, 1994; Maus et al., 1997; Bouligand et al., 2009; Bansal et al., 2011; Li et al., 2017)

Определяемые параметры:
глубины Z_t , Z_0 , Z_b ; индекс β

Расчет параметров МАС: метод центраоида (Tanaka et al., 1999)

Определяемые параметры:

глубина верхней границы (Z_t): $\ln \left[\Phi_{\Delta T}(|k|)^{1/2} \right] = \ln B - |k|Z_t$

глубина центра масс (Z_0): $\ln \left[\Phi_{\Delta T}(|k|)^{1/2} / |k| \right] = \ln C - |k|Z_0$

глубина нижней границы (Z_b): $Z_b = 2Z_0 - Z_t$

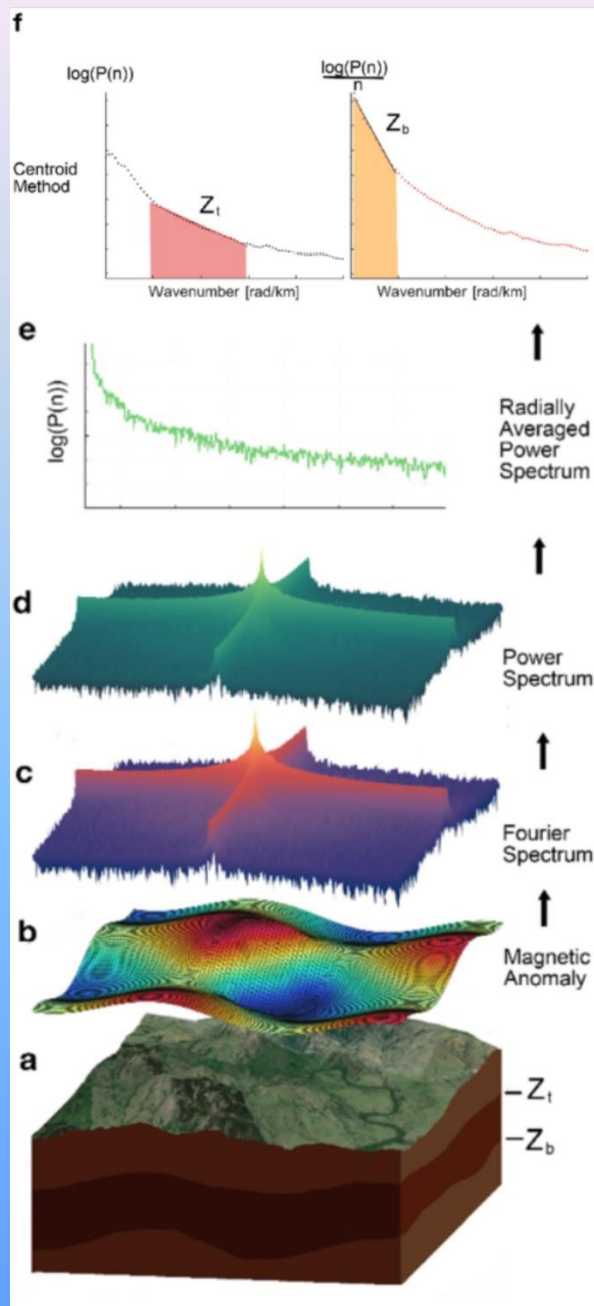
$\Phi_{\Delta T}$ – азимутально-усредненный Фурье-спектр мощности аномалий геомагнитного поля; $|k| = \sqrt{k_x^2 + k_y^2}$ – модуль волнового числа; B, C – const.

Погрешности вычисления параметров МАС : $\varepsilon = \frac{\sigma}{|k_2| - |k_1|}$
(Okubo, Matsunaga, 1994; Salazar et al., 2017)

Размер окна: **200 x 200 км**

Расчет азимутально-усредненных Фурье-спектров мощности аномалий геомагнитного поля: пакет **Fourpot 1.3b** (Pirttijärvi, 2015)

Рис. 3. Этапы расчетов параметров МАС (Núñez Demarco et al., 2021): **a** – МАС; **b** – модель литосферного геомагнитного поля; **c** – Фурье-спектр; **d** – спектр мощности; **e** – азимутально-усредненный спектр мощности; **f** – определение глубин по методу центраоида.



Результаты: глубина верхней границы

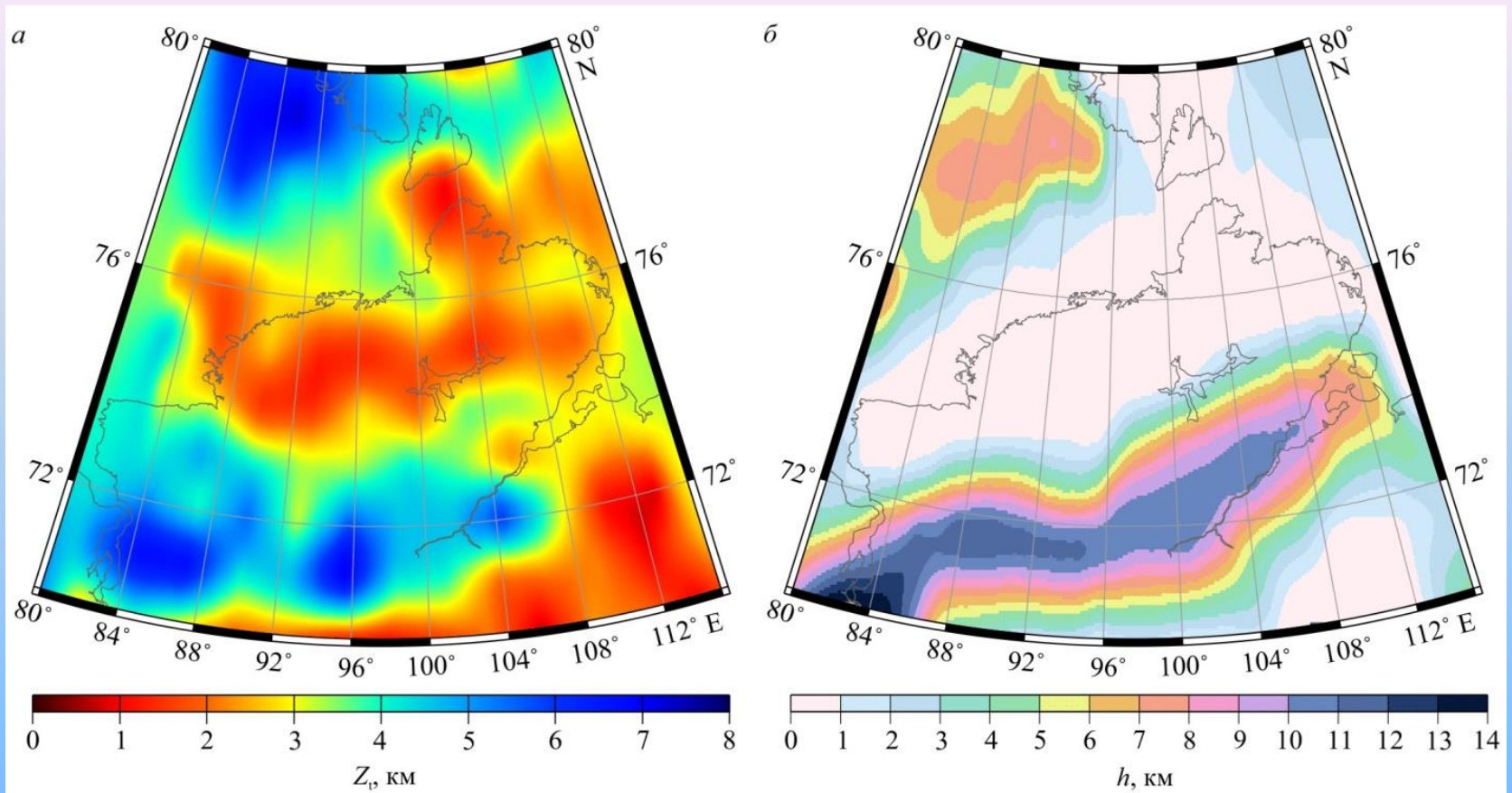


Рис. 5. Глубина верхней границы литосферных магнитных источников (а) и мощность осадочных отложений согласно модели CRUST 1.0 (*Laske et al., 2013*) (б).

Min мощность осадков: Анабарский щит Сибирской платформы и практически повсеместно в пределах Таймырского складчатого пояса (*Gramberg et al., 1999; Laske et al., 2013*);

Max мощность осадков: Енисей-Хатангский и Хатангско-Ленский бассейны (9–14 км по различным данным (*Gramberg et al., 1999; Laske et al., 2013; Cherepanova et al., 2013*)), Северо-Карский бассейн – 8 км (*Laske et al., 2013*) или даже 14 км (*Gramberg et al., 1999*).

Результаты: глубина нижней границы

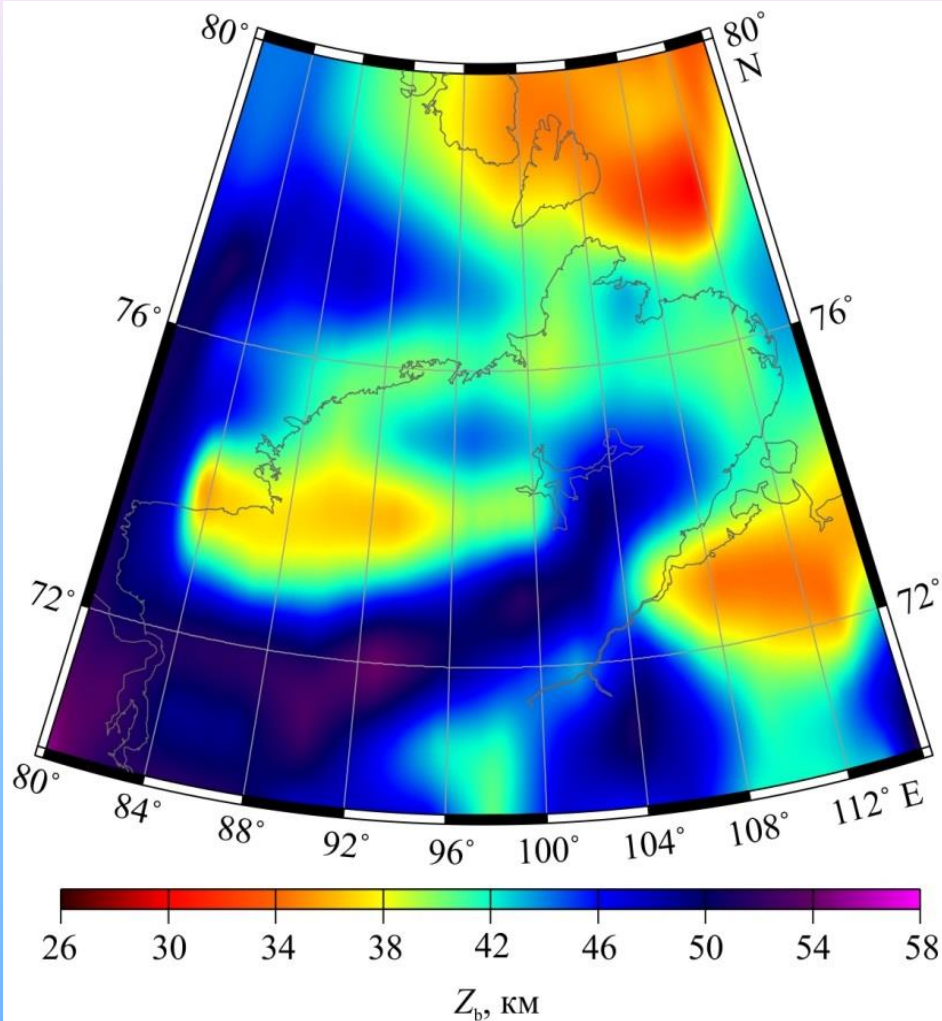


Рис. 6. Глубина нижней границы литосферных магнитных источников.

Min Z_b (< 36 км): Евразийский бассейн и соседние с ним территории шельфа моря Лаптевых и островов архипелага Северная Земля. Относительно неглубокое положение нижней границы магнитоактивного слоя литосферы (~36 км) также характерно для Хатангско-Ленского бассейна.

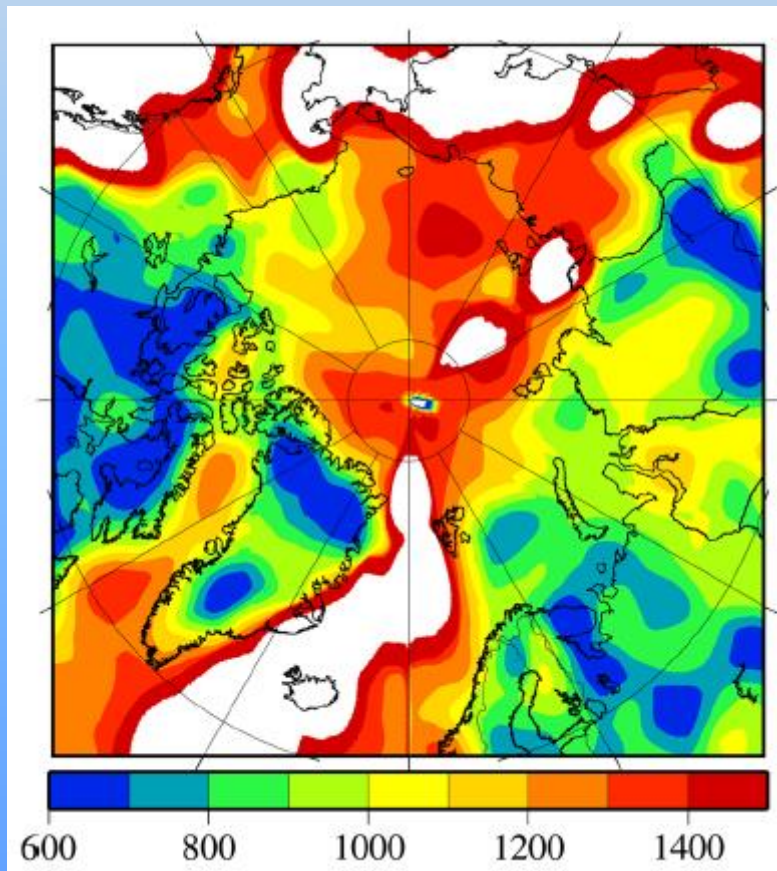
Таймырский складчатый пояс: минимум глубины Z_b (до 38 км) на западе Южно-Таймырской зоны, а в центре этой зоны Z_b заглубляется до 48 км.

Для Центрально-Таймырской и Северо-Таймырской зон в пределах полуострова глубина Z_b составляет 40–44 км

Max Z_b (50–55 км): Енисей-Хатангский бассейн. Несколько меньшие значения глубины – около 48 км с локальными минимумами до 42 км – наблюдаются под рассматриваемой частью Сибирской платформы. Карское море – 46–48 км.

Тепловой режим литосферы (независимые данные)

Для морей полученные результаты хорошо согласуются с температурными моделями, основанными на данных сейсмической томографии (*Cammarano and Guerri, 2017; Lebedev et al., 2017; Priestley et al., 2019*). Полуостров Таймыр характеризуется промежуточными относительно соседних структур значениями температур во всех упомянутых работах, а вариации температуры под полуостровом не выделяются, что связано с невысоким горизонтальным разрешением сейсмотомографии. Изотерма 550°C - глубина примерно 35 км в модели TC1 (*Artemieva, 2006*). Согласуется с нашими результатами (рис. 6), учитывая, что для областей с относительно холодной литосферой температурные градиенты на глубине малы (*Filippova et al., 2021*).



Для юга территории более противоречивые данные. (*Lebedev et al., 2017*) Енисей-Хатангский и Хатангско-Ленский бассейны, также как примыкающая к ним часть Сибирской платформы характеризуются средними температурами $1000\text{--}1100^{\circ}\text{C}$, то есть не выделяются относительно Таймырского полуострова. Все остальные данные - минимум температур. В работах (*Artemieva, 2006; Cammarano and Guerri, 2017*) он наиболее выражен под Анабарским щитом Сибирской платформы, а в распределении (*Priestley et al., 2019*) дополнительно присутствует второй минимум значений температуры под Енисей-Хатангским бассейном, что наиболее близко к нашим результатам (рис. 6).

Рис. 7. Средняя T ($^{\circ}\text{C}$) на глубинах 80-150 км (*Lebedev et al., 2017*).

Выводы

1. Минимальные значения глубины верхней границы литосферных магнитных источников (< 2.5 км) характерны для всего Таймырского складчатого пояса и рассматриваемой части Сибирской платформы, максимальные (> 6 км) – для Северо-Карского бассейна. Под Енисей-Хатангским и Хатангско-Ленским бассейнами верхняя граница ($Z_{\text{tmax}}=6.5$ км) расположена существенно выше подошвы осадочного слоя (10–14 км), что может быть связано с повсеместным внедрением базальтовых траппов в осадочный слой.
2. Минимальные значения глубины нижней границы литосферных магнитных источников (< 36 км) приурочены к Евразийскому бассейну и соседними с ним территориями шельфа моря Лаптевых и островов архипелага Северная Земля. Максимальных значений (> 48 км) этот параметр достигает под Енисей-Хатангским и Северо-Карским бассейнами. Под Таймыром прослеживается увеличение глубины от 38 до 48 км в восточном направлении.
3. В пределах рассматриваемого региона литосфера наиболее прогрета под Евразийским бассейном и соседними с ним территориями шельфа моря Лаптевых, а наиболее холодной и, соответственно, мощной литосферой характеризуются Северо-Карский, Енисей-Хатангский бассейны и Сибирская платформа, что подтверждается независимыми геофизическими данными.

Расширенная версия: Филиппова А.И., Филиппов С.В. Тепловой режим литосферы под полуостровом Таймыр по геомагнитным данным // Геомагнетизм и Аэрономия. 2023. Т. 63. № 3. doi: 10.31857/S0016794022600600

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ, проект № 21-77-10070

Спасибо за внимание!



р. Олха
Иркутская обл.