

ПЛОТНОСТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГМАТИЧЕСКИХ СТРУКТУР В КОЛПАКОВСКОМ ПЕРСПЕКТИВНОМ НИКЕЛЕНОСНОМ РАЙОНЕ (СРЕДИННЫЙ МАССИВ, КАМЧАТКА)

М.Д. Сидоров

ФГБУН Научно-исследовательский геотехнологический центр ДВО РАН, Северо-Восточное шоссе 30, г. Петропавловск-Камчатский, 683002; e-mail: nigtc@kcs.iks.ru, smd52@mail.ru

Поступила в редакцию 29 мая 2014 г.

Проведено исследование глубинного строения блока земной коры в бассейне реки Колпакова (Камчатка). На основе интерпретации аномалий силы тяжести построена объемная плотностная модель, описана технология ее создания. Установлены положение и форма массивных тел в верхней части коры, которые отождествляются с интрузиями дукукского никеленосного магматического комплекса. Локализованы участки, перспективные на обнаружение месторождений металлов, генетически связанных с интрузивным магматизмом основного и ультраосновного состава. Примененная технология является эффективным способом изучения внутреннего строения в районах со слабой изученностью глубинными геофизическими зондированиями или при их полном отсутствии.

Ключевые слова: плотность, модель, воксель, аномалия, интрузия, никеленосность, срединный массив, Камчатка.

ВВЕДЕНИЕ

Камчатской никеленосной провинции соответствует срединный массив в центральной части полуострова. Блок срединного массива относится к структурам с континентальным типом земной коры мощностью более 30 км [1, 2]. Промышленным источником металла является сульфидное медно-никелевое оруденение, генетически связанное с интрузиями формации роговообманковых базитов, объединяемых в дукукский магматический комплекс [11]. На северном и южном флангах массива выделяются два рудных района – Шанучский и Дукукский, пространственно приуроченных к краевым частям купольных структур срединного массива – Шанучского и Пымтинского, соответственно [10]. В центральной части массива, на стыке Хангарского и Лунтоского гранито-гнейсовых куполов, находится прогнозируемый Колпаковский рудный район. Перспективность района вытекает из анализа данных гравимагнитных и геологических съемок, петрофизических особенностей пород продуктивного магматического комплекса и вмещающей среды [7–9]. Никеленосные интрузии дукукского комплекса сложены немагнитными породами высокой плотности, что выгодно отличает их от других базитов срединного массива и дает возмож-

ность выявления неэродированных тел по аномалиям геофизических полей.

В районе установлены прямые признаки никеленосности [6] – проявления и геохимические аномалии никеля, выявленные в коренных и рыхлых отложениях (рис. 1а).

В центральной части срединного массива глубинных геофизических исследований не проводилось. Существующие структурно-тектонические схемы базируются только на геологических данных в концепциях тех моделей, которых придерживались их авторы. Район представляет интерес как потенциально рудоносный (не только никеля). Недостаточную глубинную изученность можно восполнить моделированием структур по аномалиям силы тяжести и сведениям о физических свойствах горных пород, слагающих район. Целью данной работы является выявление и локализация внутри верхнего корового слоя объемов геологической среды, заполненных интрузиями никеленосного магматического комплекса, по косвенным геофизическим данным.

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Колпаковский потенциально никеленосный район расположен в Срединном хребте в междуречье

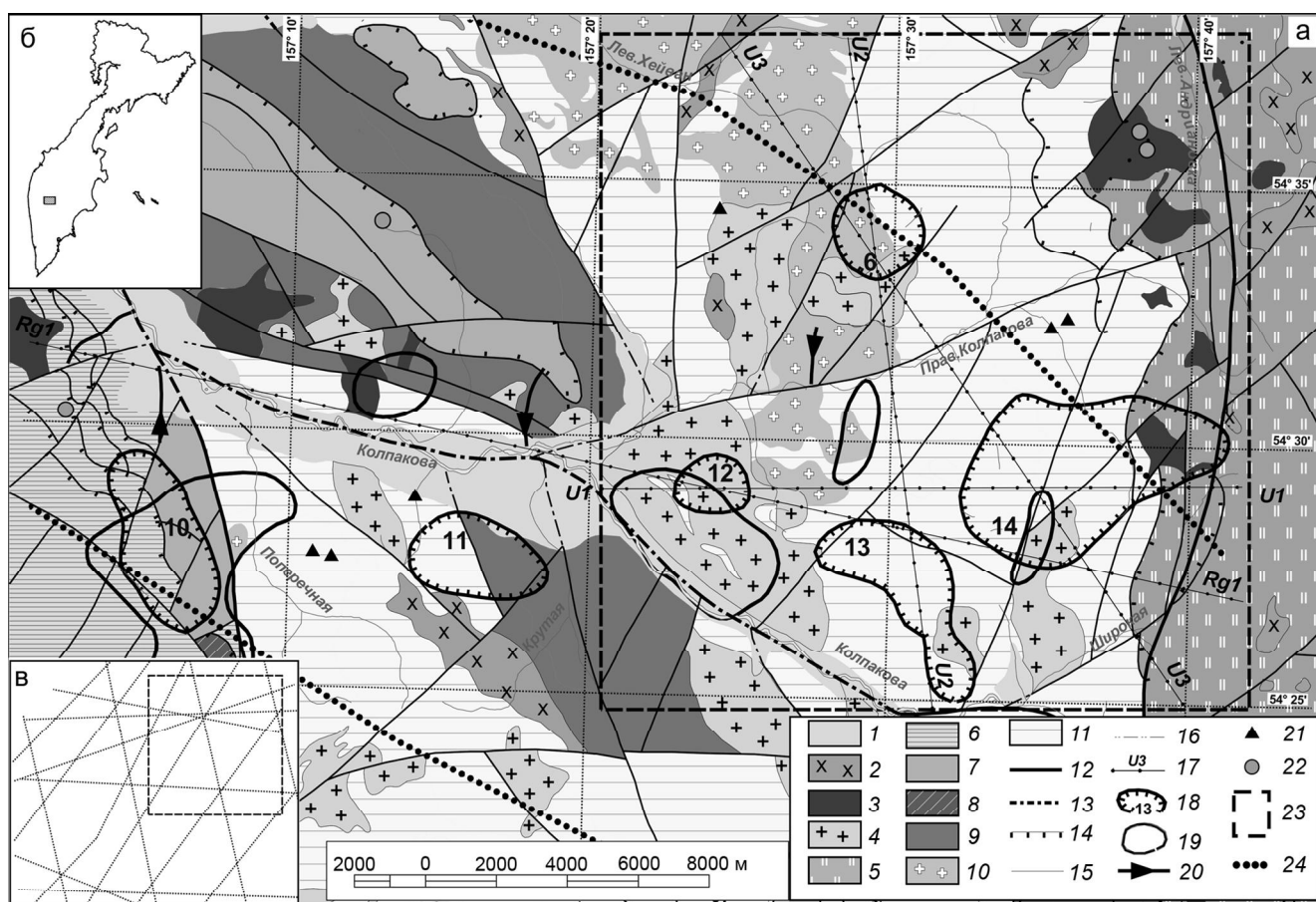


Рис. 1. Геологическая карта (а) верхнего течения р. Колпакова (по [6], с упрощениями и дополнениями), местоположение участка (б) и опорных разрезов (в).

1 – четвертичный период, неоплейстоцен. Аллювиальные, пролювиальные, озерно-болотные, ледниковые, аллювиальные межфазовые отложения; 2 – неогеновый период, миоцен. Лавкинский комплекс гранодиоритовый; 3 – меловой период, поздняя эпоха–палеогеновый период, палеоцен. Левоандриановский комплекс субщелочных габбро, пироксенитов и дунитов. 4–6 – Меловой период, поздняя эпоха. Кольский комплекс плагиогранит-гранодиоритовый (4); ирунейская свита: кремнистые сланцы, туффиты, туфы, андезиты, базальты (5); хозгонская свита: аспидные сланцы, песчаники, алевролиты, аргиллиты (6); 7–9 – меловой период, ранняя–поздняя эпоха. Алисторская свита: туфы и лавы метапикробазальтов, метапикритов, metabазальтов (7), силлы и штоки метапикродолеритов, метаперидотитов, метагаббро (8); хейванская свита: филлиты, метапесчаники, метаалевролиты, графитовые филлиты (9); 10 – меловой период, ранняя эпоха. Крутогоровский комплекс гнейсоплагиогранитовый; 11 – протерозой поздний. Камчатская и колпаковская метаморфические серии: кристаллические сланцы, микрогнейсы, амфиболиты, плагиогнейсы, мигматизированные гнейсы; 12–16 – разрывные нарушения – главные: достоверные (12), скрытые под вышележащими отложениями (13), надвиги (14), прочие разломы: достоверные (15), скрытые под вышележащими отложениями (16); 17–23 – прочие обозначения: линии геоплотностных разрезов (17); контуры перспективных локальных гравиметрических максимумов, их номера (18); геохимические ореолы никеля (19); потоки рассеяния никеля (20); литохимические аномалии никеля в рыхлых отложениях в единичных пробах (21); проявления медно-никелевых руд (22); контур наиболее перспективного участка (23); 24 – границы Колпаковской градиентной зоны.

Хейван – Колпакова – Воровская. Площадь района составляет около 700 кв. км.

В геологическом строении выделяются два структурных яруса. Нижний ярус сложен породами колпаковской и камчатской серий позднего протерозоя, представленных гнейсами и кристаллосланцами, метаморфизованными в амфиболитовой фации. Верхний – породами хозгонской, алисторской и хейванской

свит мелового возраста, а также породами ирунейской свиты, представляющей структуры обрамления срединного массива.

Нижний структурный ярус

Колпаковская серия делится на две метаформации – амфиболовых и слюдяных плагиогнейсов [6]. Парагенезис минералов свидетельствует об амфиболитовой фации регионального метаморфизма.

В залегающей выше *камчатской* метаморфической серии выделяются две формации: микрогнейсов и высокоглиноземистых кристаллических сланцев [6].

Верхний структурный ярус

На крайнем востоке района распространены отложения *ирунейской* свиты. Свита сложена кремнистыми сланцами, туффитами, туфами андезитов мелового возраста. В истоках р. Правая Колпакова отложения свиты залегают на породах камчатской серии. Контакт пологий тектонический. Мощность – до 900 м. Терригенные отложения *хозгонской* свиты распространены на западе района, представлены песчаниками, алевролитами, аспидными и глинистыми сланцами. Породы метаморфизованы в зеленосланцевой фации. Мощность свиты здесь более 1800 м.

Отложения *алисторской* свиты слагают тектонические пластины на водоразделах по левому и правому бортам долины р. Колпакова. Свита представлена туфами и лавами метапикробазальтов, метапикритов, метабазальтов [14], а небольшие штоки в зонах разломов – метагаббро и метаперидотитами [6]. Породы метаморфизованы в зеленосланцевой фации.

Хейванская свита. Образования свиты распространены по обоим бортам р. Колпакова, а также в верховьях р. Левая Колпакова. Свита состоит из переслаивающихся, смятых в складки филлитов, метапесчаников, хлорит-серицит-кремнистых сланцев. Контакты с подстилающими породами камчатской серии тектонические. Общая мощность свиты в районе – более 2000 м.

Магматические образования

Магматические образования представлены интрузиями *крутогоровского*, *левоандриановского*, *алисторского*, *кольского* и *лавкинского* интрузивных комплексов. Интрузии *крутогоровского* комплекса сложены гнейсоплагиигранитами, гнейсогранодиоритами, гнейсогранитами. Породы комплекса представляют собой анатектические образования, возникшие в результате ультраметаморфизма и региональной гранитизации протерозойского субстрата. В то же время, они прорваны интрузиями позднемелового *кольского* плагиигранит-гранодиоритового и миоценового *лавкинского* гранодиоритового комплексов.

В состав *левоандриановского дунит-клинопироксенит-монцонитового* плутонического комплекса входят зональные ультрамафитовые массивы с дунитовым ядром, окруженным клинопироксенитами и габброидами. Интрузии комплекса распространены в центральной и северо-восточной частях срединного массива, на границе со структурами обрамления. Породы интрузий обладают контрастными физическими

свойствами, благодаря чему четко выделяются комплексными аномалиями гравитационного и магнитного полей [7, 9].

Обнажения *кольского плутонического комплекса* распространены в бассейне реки Колпакова. Интрузии комплекса относятся к гранит-гранодиоритовой формации, являются многофазными и представлены породным рядом от плагиигранитов до кварцевых диоритов, гранитов.

Лавкинский гранодиоритовый плутонический комплекс представлен интрузиями сложного состава: от гранодиоритов, диоритов, кварцевых диоритов, диорит-порфиритов до габбро-диорит-гранодиоритовой формации. Интрузии комплекса распространены на всей территории срединного массива, но наиболее крупные тела обнажаются в пределах Хангарского гранитогнейсового купола.

В центральной части срединного массива выходов никеленосного *дукукского габбро-норит-корландитового комплекса* нет, но в бассейне р. Колпакова имеются косвенные признаки неэродированных интрузий, которые по своим свойствам соответствуют базитам комплекса. По последним данным, образование дукукских интрузий, обнажающихся на юге и севере срединного массива, произошло в позднем палеоцене–раннем эоцене [4, 7, 13]. В породах комплекса практически отсутствует первичный акцессорный магнетит, благодаря чему они не магнитны. Даже крупные интрузии не выявляются при аэромагнитных съемках, но, обладая избыточной плотностью 0.2–0.5 г/см³ по отношению к вмещающей среде, выделяются контрастными локальными максимумами аномалий Буге [7, 9].

Медно-никелевая минерализация

В пределах Колпаковского потенциального рудного района известны пункты медно-никелевой минерализации, а также ореолы и потоки рассеяния никеля и меди. Два пункта минерализации никеля отмечаются в бассейне р. Колпакова и два – в бассейне р. Левая Андриановка. Содержания никеля в слюдяных пироксенитах левоандриановского комплекса, метабазитах алисторского комплекса и породах *хозгонской* свиты изменяются от 0.2 до 0.5 %. Никелевая минерализация сопровождается повышенными концентрациями хрома (0.1–0.2 %) и кобальта (0.015 %). В пределах района известны 7 литохимических ореолов никеля (5 – в бассейне р. Колпакова и 2 – в бассейне р. Левая Воровская), а также 4 литохимических потока рассеяния. Содержание никеля в ореолах, потоках и единичных пробах из рыхлых отложений не превышают 0.02–0.04 %, из коренных – достигают 0.1–0.15 % [6].

ПОЛОЖЕНИЕ РАЙОНА В СТРУКТУРЕ РЕГИОНА ПО ГЕОФИЗИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Ранее в работах [7, 9] был дан анализ региональных геофизических исследований в Камчатском срединном массиве, приведены карты гравитационных и магнитных аномалий, градиентов силы тяжести, подробно рассмотрены и проанализированы физические свойства всего многообразия горных пород, встречающихся в массиве, выделены петрофизические группы, реально влияющие на аномальные поля (табл.), установлены критерии для разделения аномалий по геологической природе. В данной статье рассматривается небольшая часть территории срединного массива и ниже приводится характеристика только для района в бассейне р. Колпакова.

Район расположен на пересечении двух региональных зон (Западной и Колпаковской) горизонтальных градиентов силы тяжести (рис. 2). Градиентными зонами отмечаются участки деструкции в земной коре, которые служат магмоводами [9, 11]. Одна из зон ограничивает срединный массив с запада, другая пересекает его по траверсу р. Колпакова. Ширина градиентных зон – от 3 до 20 км, протяженность – более ста км. Внутри зон отмечаются максимумы $\Delta g_{\text{ост}}$, над которыми отсутствуют коррелируемые с ними магнитные аномалии, что является признаком крупных интрузий никеленосного комплекса. Верхние кромки плотных массивных тел располагаются на глубине первых сотен метров, а центры тяжести – в интервале 1–4 км. Амплитуды локальных аномалий Δg достигают 2–6 мГал (здесь и далее интенсивность аномалий Буге приводится в условном уровне).

Границы зон устанавливаются по характерному расположению особых точек, которые группируются в «рои» и образуют цепочки различного простирания.

Северо-восточным ограничением Колпаковской градиентной зоны является линия, проходящая

по долине р. Хейван до верховьев р. Андриановка, а юго-западной границей служит водораздел рек Колпакова и Левая Воровская. Ширина Колпаковской градиентной зоны составляет около 20 км. Внутри зоны расположено более десятка локальных максимумов Δg . Часть максимумов коррелируется с выходами плотных массивных интрузий левоандриановского комплекса и крупными блоками алисторской свиты. Другая часть (№№ 6, 10–14 на рис. 1а) аномалий не находит отражения в геологии. Их источник находится на глубине от 0.5 до 4 км. Таким источником могут являться интрузии никеленосного дукукского комплекса. Отличить их от левоандриановских интрузий достаточно легко по отсутствию сопряженных с гравиметрическими максимумами контрастных положительных магнитных аномалий.

По данным крупномасштабных аэромагнитных съемок, проведенных в районе, магнитное поле – плавное, слабо отрицательное, малоамплитудное (0–50 нТл), что согласуется с немагнитной средой метаморфитов. Источником интенсивных (сотни и тысячи нТл) положительных, градиентных аномалий являются интрузии левоандриановского комплекса в истоках рек Левая Андриановка–Правая Колпакова–Широкая–Левая Колпакова, а также интрузия в западной части района на левом борту р. Колпакова (рис. 1, 3). Исключение составляют три небольших интрузивных блока габброидов на правом берегу р. Колпакова. Физические свойства пород этих тел соответствуют породам дукукского и алисторского комплексов, к которым, вероятнее всего, они и должны быть отнесены.

МЕТОДИКА ГЕОПЛОТНОСТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Район не изучен глубинными геофизическими зондированиями, но обеспечен 2-миллигальной гравиметрической съемкой масштаба 1:200 000 и аэро-

Таблица. Петрофизические группы Колпаковского района.

Группа 1	Группа 2	Группа 3	Группа 4	Группа 5
Немагнитные (α до 100×10^{-5} СИ), относительно малоплотные ($2.57\text{--}2.65$ г/см ³) гнейсы, гранитогнейсы, мигматиты колпаковской и камчатской метаморфических серий, граниты интрузий крутогорского и кольского комплексов.	Немагнитные (α до 100×10^{-5} СИ), слабомагнитные (α – сотни в 10^{-5} СИ), породы со средней плотностью ($2.66\text{--}2.80$ г/см ³) хейванской, хозгонской свит, крист.сланцы камчатской серии.	Магнитные (α $1000\text{--}3000 \times 10^{-5}$ СИ), средней плотности ($2.66\text{--}2.80$ г/см ³) породы ирунейской свиты и лавкинского интрузивного комплекса.	Немагнитные (α до 100×10^{-5} СИ), слабомагнитные породы высокой плотности (свыше 2.85 г/см ³) дукукского интрузивного, алисторского субвулканического комплексов.	Магнитные (α $1000\text{--}3000 \times 10^{-5}$ СИ) и сильномагнитные (α более 3000×10^{-5} СИ) породы высокой плотности (свыше 2.85 г/см ³) левоандриановского дунит-клинопироксенит-габбрового комплекса.

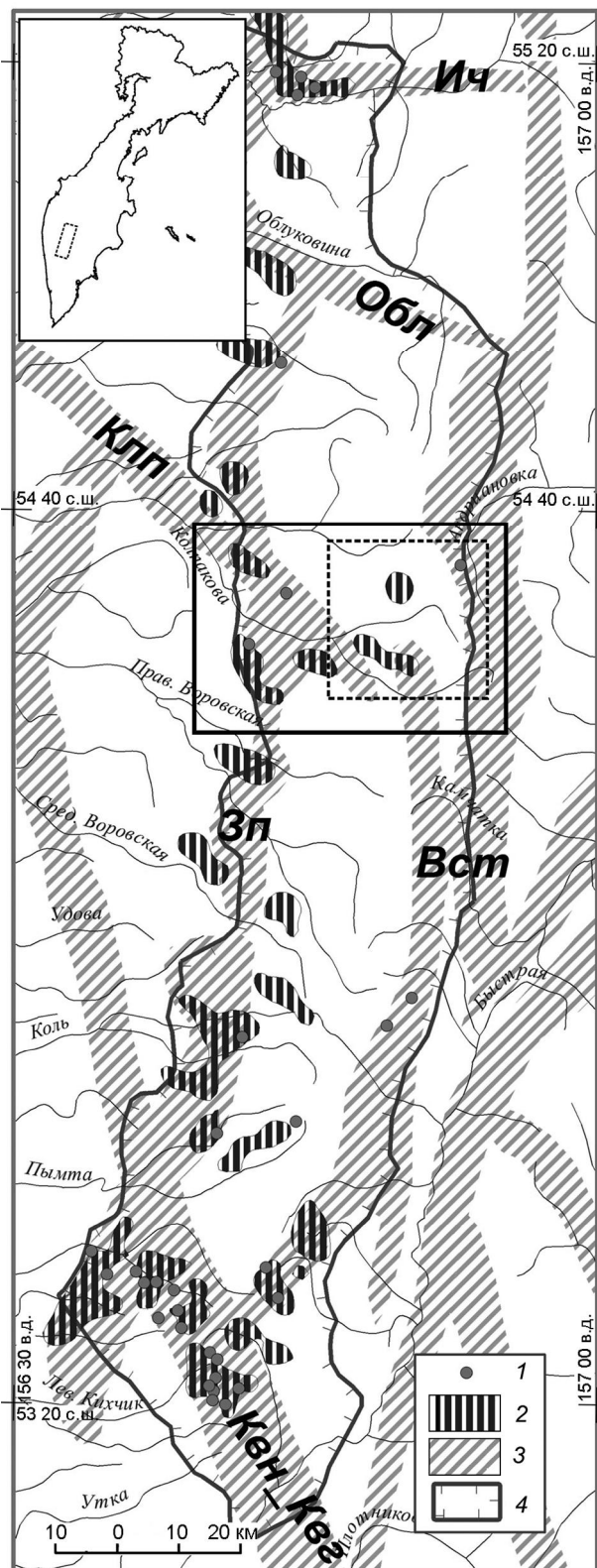


Рис. 2. Положение Колпаковского перспективного рудного района в структуре региона по геофизическим данным.

1 – проявления медно-никелевых руд; 2 – перспективные локальные максимумы $\Delta g_{\text{ост.}}$ над которыми отсутствуют магнитные аномалии; 3 – региональные зоны горизонтальных градиентов силы тяжести; 4 – контур срединного массива. Градиентные зоны: Западная (Зп), Восточная (Вст), Ичинская (Ич), Облуковинская (Обл), Колпаковская (Клп), Квинум-Кувалорогская (Квн-Квг). Пунктиром показана перспективная площадь в Колпаковском районе.

магнитными съемками масштаба 1:50 000, по материалам которых автором (в рамках создания геофизической основы Госгеолкарты-1000 нового поколения) была составлена электронная база данных. Представление о строении на глубину получено по геолого-геофизическим разрезам. Для построения глубинных разрезов применена методика плотностного моделирования аномального гравитационного поля способом подбора. В качестве априорной информации для составления разрезов служили геологическая карта [6], база данных о физических свойствах горных пород [7] и результаты количественной интерпретации аномальных полей методом нахождения особых точек. Всего было составлено 16 разрезов по пересекающимся траверсам (рис. 1в).

Плотностное моделирование состоит из двух основных этапов: составление первоначального (исходного) геолого-геофизического разреза и его корректировки по результатам сравнения вычисленной теоретической аномалии с графиком аномалии, наблюденной при съемке.

Технология моделирования состоит из нескольких последовательных шагов.

Шаг первый – на выбранном траверсе по геологической карте составляется геологический разрез приповерхностной части профиля. Далее границы геологических тел на разрезе заменяются ломаными линиями, которые образуют контуры сечений призм горизонтальных бесконечных, либо ограниченных по простиранию перпендикулярно профилю. Каждой призме назначается плотность в соответствии с литологией и структурно-текстурными особенностями геологических тел. Для «тонких» слоев (в масштабе модели) геологического разреза применяется принцип эквивалентности (объединение в один слой нескольких маломощных и придание ему усредненной плотности). Ограничение (3/4D) перпендикулярно профилю накладывается на тела интрузий (по градиентам соответствующих аномалий) и в блоках рельефа (хребты), а также на отрезках разрезов вдоль «узких» геологических структур.

Шаг второй – достраивание глубинной части разреза. Основным источником информации об этой части разреза являются результаты количественной интерпретации гравитационного поля методом нахо-

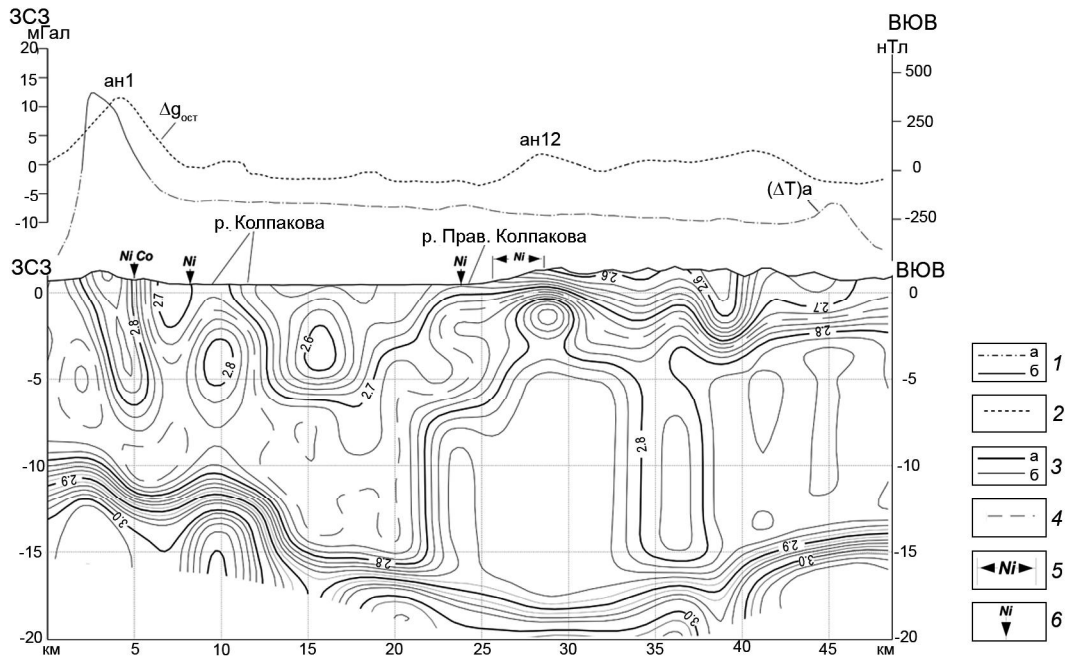


Рис. 3. Плотностной разрез по профилю Rg1.

1 – графики $(\Delta T)a$ отрицательный (а), положительный (б); 2 – график $\Delta g_{\text{ост}}$; 3 – изоденсы основные (а), промежуточные (б), плотность в г/см^3 ; 4 – изоденса, соответствующая характерной плотности кристаллосланцев (2.74 г/см^3); 5 – участки пересечения геохимических ореолов рассеяния никеля; 6 – единичные геохимические пробы с аномальным содержанием металлов.

ждения особых точек. Метод не требует априорных геологических данных о возмущающих объектах. В его основе лежит локализация особенностей аномального поля путем разделения его на локальные составляющие, вызванные одиночным объектом или его частью (особой точкой) с подавлением влияния других окружающих точек. Выявление точки достигается специальными интегральными преобразованиями исходного поля. В результате интерпретации определяются координаты наиболее устойчивых точек, характеризующих на профиле-разрезе углы объектов большой горизонтальной и вертикальной мощности, кромки, центры тел изометричной формы, а также углы наклона граней. Особые точки группируются по структурному индексу, который сопоставляется по геометрической форме с типовыми классами геологических тел: дайками, силлами, линзовидными вертикальными и горизонтальными телами, пластами и трубообразными телами. Алгоритм построен на решении уравнений Эйлера для ограниченной области пространства потенциального поля и его градиентов, в котором определяется степень однородности (структурный индекс). Диапазон глубин, в которых были определены особые точки, составил 0–14 км.

Попадающие в плоскость разреза особые точки использованы для «дистраивания» геологических тел в глубину. При этом априорными данными слу-

жит стратиграфическая колонка геологической карты [6]. Для отдельных участков района строились стратозиогипсы поверхности, соответствующие классу пластовых тел, которые использованы как границы глубинных горизонтов на разрезах. Целевые объекты исследования располагаются в самой верхней части земной коры, которая в разрезах прорисовывалась наиболее подробно. При подборе по наблюдаемому полю силы тяжести для самой нижней части разреза в качестве фоновой принята в обобщенном виде кора, состоящая из нижнего ($\sigma=2.9\text{--}3.0 \text{ г/см}^3$), верхнего ($\sigma=2.75\text{--}2.85 \text{ г/см}^3$) слоев. Глубина до подошвы коры экстраполирована со смежного района Западной Камчатки, где имеются данные ГСЗ [5].

Шаг третий – собственно моделирование, которое заключалось в подборе геометрии и плотности тел разреза до максимального совпадения теоретического графика Δg с графиком наблюдаемой аномалии. На профилях, пересекающих локальные максимумы силы тяжести, подбор проводился в два этапа: сначала по наблюдаемому полю, а затем уточнялся по остаточным аномалиям. Остаточные аномалии получены как разность наблюдаемого и осредненного значений поля силы тяжести. Для определения оптимального радиуса проведено опытное осреднение в различных местах района и построены графики изменения поля силы тяжести от радиуса палетки. По

характерным точкам перегиба графиков (изменение знака второй производной) определен оптимальный радиус палетки 4 км. При дальнейшем увеличении радиуса правые ветви кривых монотонно стремятся к асимптотическим значениям за пределы рассматриваемой аномальной области.

Расчетные точки располагались на профилях с шагом 1–2 км. Шаг выбирался таким, чтобы максимально подробно описать морфологию аномалий. В качестве опорных данных использована матрица аномалий Буге. Корректировка разреза и расчеты выполнялись многократно, до достижения погрешности в 5 %. Корректность построенных моделей и расчетов контролировалась взаимным пересечением профилей.

Шаг четвертый – формирование базы данных плотностей (БДП). Для этого на плоскости подобранных разрезов накладывалась квадратная сетка с ячейкой 200×200 метров. В каждом узле сетки вычислялись плановые координаты, определялись глубина и модельная плотность. БДП использовалась для построения трехмерной матрицы объемного изображения. Представление в виде элементарных ячеек объема (voxel) используется для функций, непрерывных в пространстве. Этим свойством обладает плотность геологической среды. Для различных участков исследованной территории, в зависимости от густоты исходных данных, были составлены матрицы с размерами ячеек 2×2×2 км, 1×1×1 км и 0.5×0.5×0.5 км. Воксельная модель наглядно отображает положение и форму плотностных неоднородностей внутри исследованного блока коры, позволяет строить изоплотностные поверхности, карты-срезы и вертикальные сечения. Было создано две модели: одна – для всего района, вторая, детализированная – для наиболее перспективного участка (показан пунктиром на рис. 1).

Интерпретация и построение глубинных разрезов проведены программами пакета Oasis Montaj (Geosoft Inc): GMSYS – решение прямой задачи гравиразведки, MAGMAP filtering – вычисление остаточных аномалий, 3D Euler – нахождение координат особых точек в трехмерном варианте. Кроме того, в плоскости разрезов (двухмерный вариант) особые точки определялись программой OSG (НПО Рудгеофизика). На этапе создания БДП использован ArcGis, а для визуализации модели 3D-вьюер – Oasis Montaj.

ПЛОТНОСТНАЯ МОДЕЛЬ

Профиль Rg1 (рис. 3) пересекает срединный массив в широтном направлении, проходя через два локальных максимума Δg . Один расположен на левом борту р. Колпакова, на западе профиля (ан1), второй (ан12) в середине – в междуречье Колпакова и Правая Колпакова.

Верхняя часть разреза сложена породами камчатской и колпаковской серий метаформаций гнейсов и мигматитов, терригенными осадками хозгонской свиты и прорвана гранитоидами кольского комплекса. На фоне этой относительно малоплотной среды аномалиями плотности выделяются две интрузии базитового состава. Первая (западная) обнажается и сложена породами левоандриановского комплекса. Над ней наблюдаются интенсивные контрастные максимумы силы тяжести и магнитного поля. Судя по форме изоденс и графиков геофизических аномалий, массивное магнитное тело погружается на восток под углом 70–80° и прослеживается до глубины 8 км. В восточной экзоконтактной зоне интрузии установлено проявление никеля [6] непромышленного типа.

Второе интрузивное тело выходов на дневную поверхность не имеет и предполагается на небольшой глубине. Детальное моделирование (рис. 4 а) и расчеты показывают, что верхняя кромка находится на уровне моря, а центр тяжести – на два километра ниже, плотность в центре – более 2.96 г/см³. Важной особенностью является отсутствие над этим уплотнением выразительных магнитных аномалий. Это дает основание предполагать, что плотное и немагнитное тело может быть интрузией дукукского никеленосного комплекса или крупной субвулканической интрузией алисторского. Оба комплекса имеют схожие физические свойства и геохимическую специализацию. Максимум остаточной аномалии силы тяжести (номер 12 на рис. 1) площадью 4.5 кв. км имеет амплитуду около 4 мГал. Аномалия расположена в водораздельной части хребта, разделяющего реки Колпакова и Правая Колпакова. К юго-западу от максимума на правом борту р. Колпакова выявлен вторичный геохимический ореол никеля [6], что косвенно подтверждает наличие здесь базитовой интрузии. Возможно, что от основной интрузии, которая и отмечается максимумом Δg , существуют апофизы, доходящие до дневной поверхности, эрозия которых и дала никеленосный материал в геохимических пробах.

Блок в междуречье Правая Колпакова–Колпакова–Широкая не исследован крупномасштабными геологическими работами. Но, в этой части района, кроме описанной выше аномалии, есть еще несколько максимумов Δg (рис. 1), которые также могут быть образованы базитовыми интрузиями, находящимися в самой верхней части геологического разреза. Максимумы 13 и 14 имеют сложную в плане форму с несколькими экстремумами и сформированы группой сближенных массивных тел, возможно соединенных между собой магматическими проводниками. На рисунке 5 показано положение вероятных интрузивных тел в пространстве, а на рисунках 4 и 6 – сечения

плотностной 3D-модели, проходящие через локальные максимумы силы тяжести. На детализированных разрезах отчетливо видны компактные массивные блоки с плотностью свыше 2.8–2.9 г/см³, сосредоточенные в 3–4 километрах от поверхности. Как правило, над ними и вблизи наблюдаются прямые признаки интрузий базит-ультрабазитового состава в виде ореолов, потоков и отдельных проб с повышенным содержанием никеля и меди.

В камчатском срединном массиве к промышленному типу относятся регенерированные месторождения никеля, которые формируются в процессе магматического и гидротермального переотложения

рудных масс, выделившихся ранее в промежуточных магматических камерах и магматических проводниках [12]. К этому генетическому типу относятся месторождение Шануч и ряд перспективных рудопроявлений. Никеленосными являются малые интрузии – штоки, дайки и силлы. Они представляют собой апофизы, образованные обогащенным рудным веществом магм, внедренных в ослабленные участки экзоконтактовой зоны крупных интрузий, которые можно рассматривать как промежуточные магматические камеры. Существовавшая в Срединном хребте на рубеже мезозоя – кайнозоя тектоническая обстановка способствовала формированию систем

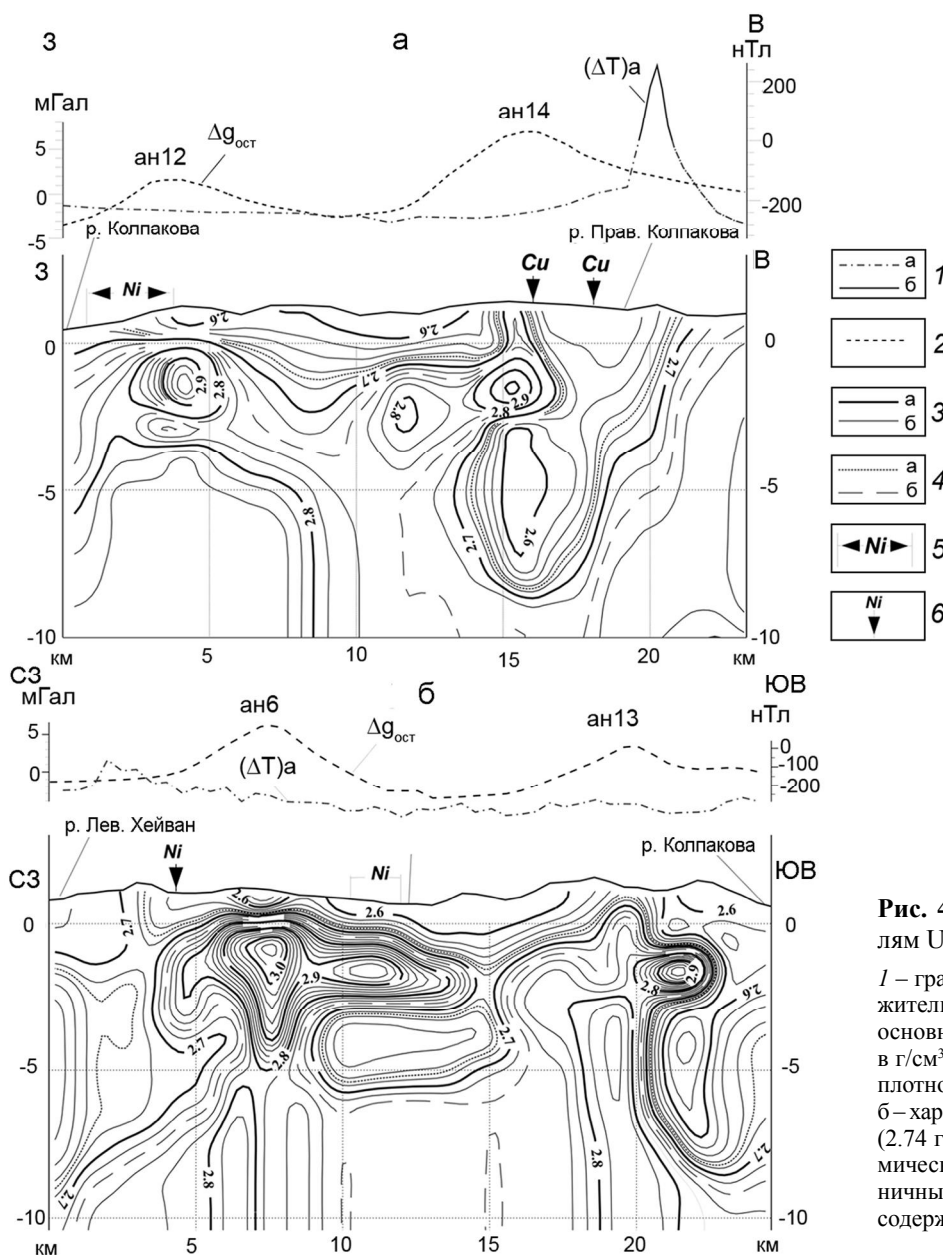


Рис. 4. Плотностные разрезы по профилям U1 (а) и U2 (б).

1 – графики $(\Delta T)_a$ отрицательный (а), положительный (б); 2 – график $\Delta g_{ост}$; 3 – изоденсы основные (а), промежуточные (б), плотность в г/см³; 4 – изоденсы, соответствующие: а – плотности промежуточного слоя (2.67 г/см³), б – характерной плотности кристаллосланцев (2.74 г/см³); 5 – участки пересечения геохимических ореолов рассеяния никеля; б – единичные геохимические пробы с аномальным содержанием металлов.

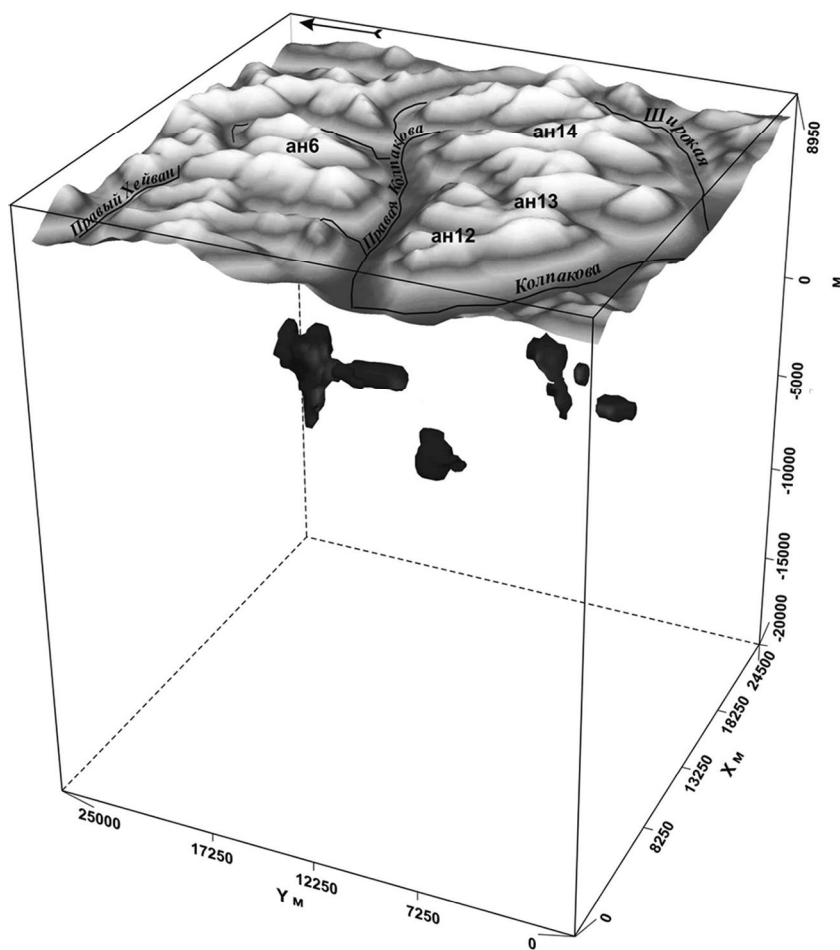


Рис. 5. Морфология и положение предполагаемых интрузивных тел с плотностью более 2.9 г/см³. Для наглядности поверхность рельефа поднята на три километра, а его вертикальный масштаб в два раза увеличен. Стрелкой показано направление на север.

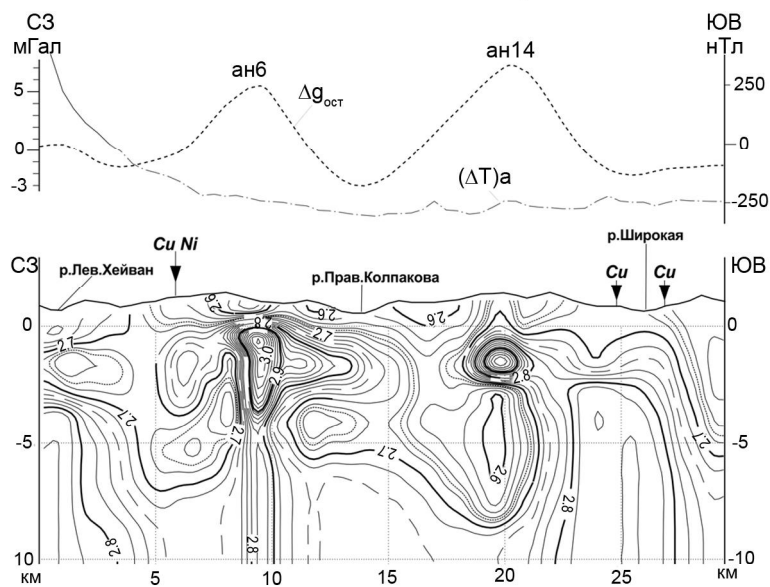


Рис. 6. Плотностной разрез по профилю U3. Условные обозначения на рис. 4.

промежуточных очагов [3]. Крупным интрузиям, с размерами более 1 км в поперечнике, соответствуют локальные максимумы Δg и массивные блоки на плотностной модели.

Кроме описанного выше блока, интерес представляет участок по правому борту в среднем течении

р. Правая Колпакова, на интервале до истоков р. Правый Хейван (аномалия 6 на рисунках 1, 4 б, 5, 6). Площадь изометричного в плане максимума – более пяти квадратных километров, а амплитуда остаточной аномалии – около 6 мГал. На модели образующее аномалию массивное тело, с плотностью в центре более

3.0 г/см³, вытянуто вертикально. Судя по плотности, оно сложено породами основного или ультраосновного состава и имеет апофизы в южном направлении, о чем свидетельствует затяжка изоденсы 2.90 г/см³ (рис. 4 б). К северо-западу плотный блок резко выклинивается, вероятно, с этой стороны предполагаемая интрузия ограничена разломами, которые на дневной поверхности выявлены геологической съемкой (рис. 1 а), а на разрезе проявлены как крутопадающая зона локального разуплотнения. Плавное и слабое отрицательное магнитное поле в районе максимума Δg дает основание отнести скрытое интрузивное тело к дукукскому никеленосному комплексу, а район аномалии считать перспективным на поиски никеля.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное глубинное исследование в бассейне р. Колпакова позволяет расширить перспективы этой части срединного массива на обнаружение месторождений металлов, генетически связанных с интрузивным магматизмом основного и ультраосновного состава.

Примененная технология создания объемной воксельной модели распределения плотности является эффективным способом изучения внутреннего строения районов с недостаточной изученностью глубинными геофизическими зондированиями или при их полном отсутствии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Апрельков С.Е., Попруженко С.В. Пенжинско-Западно-Камчатская складчатая зона и Укэлайт-Срединный блок в структуре Корякского нагорья Камчатки // Тихоокеан. геология. 2009. Т. 28, № 4. С. 90–104.
2. Гонтовая Л.И., Попруженко С.В., Низкоус И.В., Апрельков С.Е. Верхняя мантия Камчатки: глубинная модель и связь с тектоникой // Тихоокеан. геология. 2008. Т. 27, № 2. С. 80–91.
3. Колосков В.А., Флеров Г.Б., Коваленко Д.В. Позднемеловые-палеоценовые магматические комплексы центральной Камчатки: геологическое положение, особенности вещественного состава // Тихоокеан. геология. 2009. Т. 28, № 4. С. 16–34.
4. Конников Э.Г., Чубаров В.М., Полетаев В.А., Бухтияров П.Г. Новые данные о структуре и геохимии Дукукского габбро-норит-кортландитового массива Камчатки // Тихоокеан. геология. 2010. Т. 29, № 6. С. 13–25.
5. Потапьев С.В. Рекогносцировочные исследования ГСЗ на Западной Камчатке // Труды Сах.КНИИ. 1974. Сб. № 5. Вып. 37. С. 49–61.
6. Сидоренко В.И., Селиванов М.Т., Лисович В.А. Государственная геологическая карта Российской Федерации. 1:200 000. Серия Хангарская. Лист N-57-XIV (гора Вершинная): Объясн. зап. СПб.: Картогр. ф-ка ВСЕГЕИ, 2010. 144 с. + 4 вкл.
7. Сидоров М.Д., Степанов В.А. Геофизические поля и никеленосность Камчатского срединного массива // Вестн. КРАУНЦ. Сер. Науки о Земле. Петропавловск-Камчатский, 2006. Вып. 8. № 2. С. 140–150.
8. Сидоров М.Д. Геофизические критерии прогнозирования никеленосных интрузий: Материалы региональной науч.-практ. конф. «Минерально-сырьевые ресурсы как фактор развития промышленной инфраструктуры Камчатского края. Петропавловск-Камчатский, 2007. С. 7–9.
9. Сидоров М.Д. Прогнозирование по гравимагнитным данным никеленосных интрузий в Камчатском срединном массиве: Автореф. дис.... канд. геол.-минер. наук. М., 2010.
10. Сляднев Б.И., Шаповаленко В.Н., Крикун Н.Ф. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. 1:1 000 000 (третье поколение). Лист N-57 Петропавловск-Камчатский: Объясн. зап. СПб.: Изд-во СПб картф-ки ВСЕГЕИ, 2007. 206 с.
11. Трухин Ю.П., Степанов В.А., Сидоров М.Д. Камчатская никеленосная провинция // Докл. РАН. 2008. Т. 418, № 6. С. 802–805.
12. Трухин Ю.П., Степанов В.А., Сидоров М.Д. и др. Шанучское медно-никелевое месторождение: геолого-геофизическая модель, состав и геохимия руд // Руды и металлы. 2009. № 5. С. 75–81.
13. Трухин Ю.П., Сидоров М.Д., Степанов В.А., Кунгурова В.Е. Строение и никеленосность Кувалорогского базит-ультрабазитового массива // Изв. вузов. Геология и разведка. 2009. № 6. С. 78–85.
14. Ханчук А.И. Геология и происхождение Срединнокамчатского кристаллического массива // Тихоокеан. геология. 1983. № 4. С. 45–53.

Рекомендована к печати В.А. Колосковым

M.D. Sidorov

Density modeling of magmatic structures in the Kolpakov perspective nickeliferous region (Median Massif, Kamchatka)

A study was made of a deep structure of the crustal block in the Kolpakov river basin (Kamchatka). Based on gravity anomaly interpretation a 3-D density model was constructed and the technology of its creation was described. The location and the form of massive bodies in the upper crust were determined which are identified with the intrusions of the Duckuk nickeliferous magmatic complex. Areas prospective for discovery of metal deposits which are genetically related to intrusive magmatism of basic and ultrabasic composition have been localized. The applied technology is an effective way to study the internal structure in the regions where these processes are scantily investigated by deep geophysical soundings or not completely understood.

Key words: density, model, voxel, anomaly, intrusion, nickeliferous, Median Massif, Kamchatka.