

М. Д. СИДОРОВ (НИГТЦ ДВО РАН),
А. В. РАЗУМНЫЙ, Е. П. ИСАЕВА (ВСЕГЕИ)

Модель земной коры и тектоническое районирование переходной зоны континент — океан Чукотско-Корякско-Камчатского сектора Тихоокеанского складчатого пояса

Составлены схемы глубинного строения и тектонического районирования переходной зоны континент — океан для Чукотско-Корякско-Камчатского сектора Тихоокеанского складчатого пояса. Схемы являются частью цифрового пакета бесшовных карт м-ба 1 : 1 000 000 Дальневосточного региона. Дана краткая характеристика строения земной коры в зоне перехода от океана к континенту. Приведены данные о глубине залегания главных структурных поверхностей — кровли и подошвы консолидированной коры, мощности коры и составляющих ее частей — вулканогенно-осадочного, гранитно-метаморфического и гранулит-базитового слоев. Земная кора представлена тремя типами: океанической, переходной и континентальной. Минимальная мощность 12–24 км в блоках коры океанического типа, максимальная 40–47 км в континентальных блоках. При составлении схем применен метод обобщения глубинных геофизических зондирований и их увязки с помощью плотностного моделирования.

Ключевые слова: земная кора, плотностная модель, складчатая область.

M. D. SIDOROV (RGC FEB RAS),
A. V. RAZUMNY, E. P. ISAeva (VSEGEI)

Crustal model and tectonic zoning of the continent-ocean transition zone in the Chukchi-Koryak-Kamchatka sector of the Pacific Fold Belt

Maps of the deep structure and tectonic zoning of the continent-ocean transition zone have been compiled for the Chukchi-Koryak-Kamchatka sector of the Pacific Fold Belt. The maps are part of a digital 1:1 M seamless maps package of the Far East area. A brief description of the crustal structure in the ocean-to-continent transition zone is given. Data on the depth of the main structural surfaces such as the roof and the bottom of the consolidated crust, the thickness of the crust and its constituent parts — volcanic-sedimentary, granite-metamorphic and granulite-basitic layers are presented. The earth crust is represented by three types: oceanic, transitional and continental. The minimum thickness is 12 to 24 km in oceanic crust blocks, the maximum one is 40 to 47 km in continental blocks. The method of generalization of deep geophysical soundings and their correlation by means of density modeling was applied in map compiling.

Keywords: Earth crust, density model, fold area.

Для цитирования: Сидоров М. Д., Разумный А. В., Исаева Е. П. Модель земной коры и тектоническое районирование переходной зоны континент — океан Чукотско-Корякско-Камчатского сектора Тихоокеанского складчатого пояса // Региональная геология и металлогения. — 2020. — № 82. — С. 69–82.

Введение. Территория Чукотско-Корякско-Камчатского региона расположена в северо-западном сегменте Тихоокеанского складчатого пояса и представляет собой зону перехода от континента к океану. С северо-северо-запада на юго-юго-восток происходит последовательная смена земной коры континентального типа на кору переходную и затем океаническую. В верхней части земной коры в этом направлении наблюдается устойчивая тенденция омоложения структур, обусловленная последовательным наращиванием континентальной коры, которое согласуется с аккреционной моделью развития региона. Отмеченная закономерность также прослеживается и на глубинном уровне. В статье

представлена модель глубинного строения региона, основанная на обобщении и интерпретации накопленных к настоящему времени геологических и геофизических данных. Работы выполнены в процессе создания фрагмента цифровых бесшовных карт м-ба 1 : 1 000 000 по группе листов в пределах Дальневосточного (Чукотско-Корякско-Камчатского) региона (листы N-57, O-57, O-58, P-58, P-59, Q-59, Q-60) по материалам Госгеолкарты м-ба 1 : 1 000 000 третьего поколения (ГК-1000/3).

Методы исследований. Основой для модели коры послужили схемы глубинного строения, составленные при создании листов ГК-1000/3,

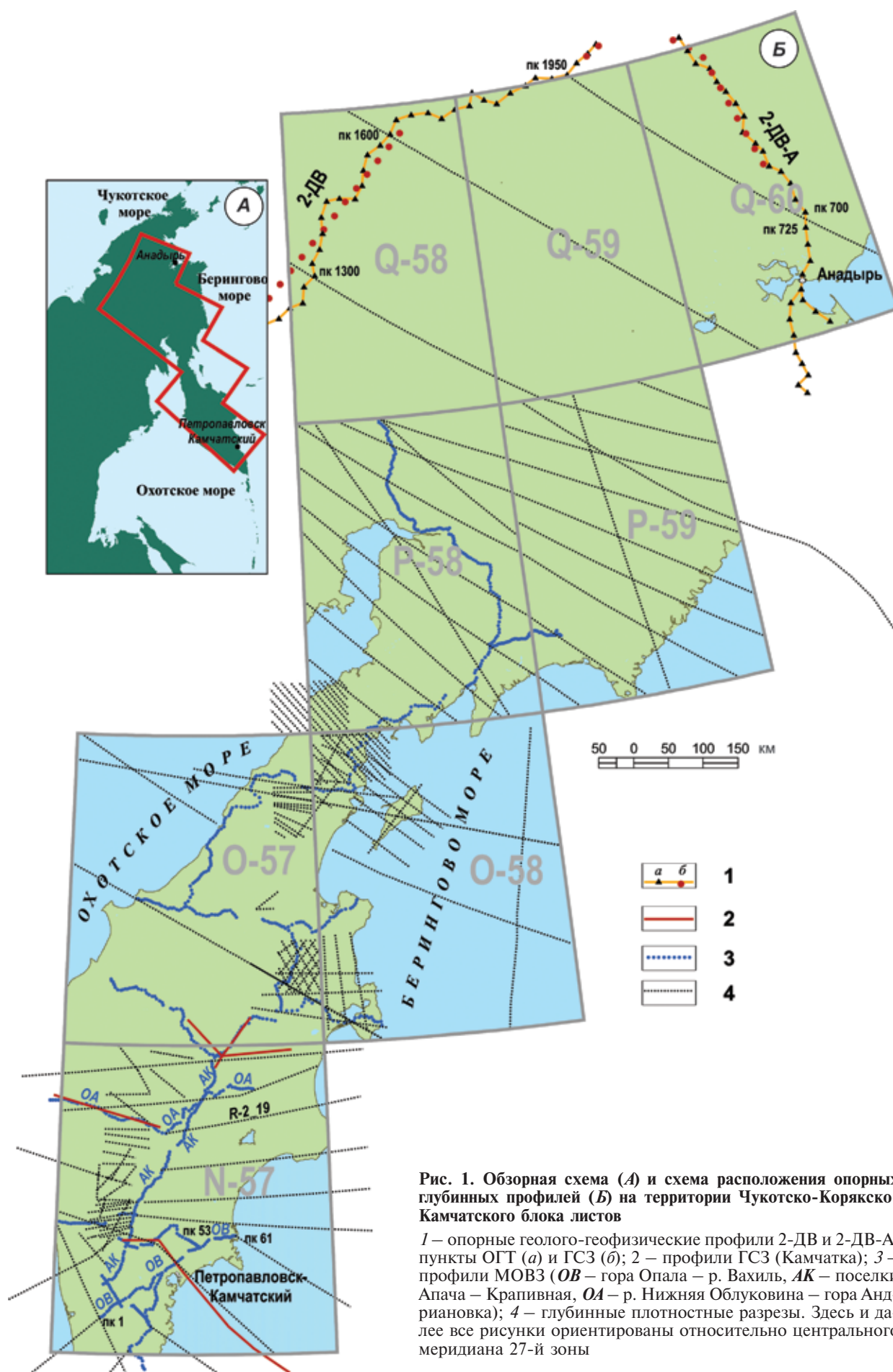


Рис. 1. Обзорная схема (А) и схема расположения опорных глубинных профилей (Б) на территории Чукотско-Корякско-Камчатского блока листов

1 – опорные геолого-геофизические профили 2-ДВ и 2-ДВ-А, пункты ОГТ (а) и ГСЗ (б); 2 – профили ГСЗ (Камчатка); 3 – профили МОБЗ (ОБ – гора Опала – р. Вахиль, АК – поселки Апача – Крапивная, ОА – р. Нижняя Облуковина – гора Андриановка); 4 – глубинные плотностные разрезы. Здесь и далее все рисунки ориентированы относительно центрального меридиана 27-й зоны

а также материалы по актуализации геолого-геофизических моделей земной коры и верхней мантии для обеспечения комплексной тектонической основы северо-востока России и прилегающих акваторий (Е. Д. Мильштейн и др., 2016).

И с х о д н ы е д а н н ы е. Описываемая обширная территория изучена различными глубинными геофизическими методами весьма неравномерно как в пространстве (рис. 1), так и по времени их проведения. Некоторое исключение составляют гравиметрические съемки, которые были сведены в единые массивы карт при создании геофизических основ (М. Д. Сидоров, 2001; Ю. В. Асламов и др., 2002; Е. П. Алексеев и др., 2006; Б. Л. Попов и др., 2009) для листов ГК-1000/3. Глубинные данные получены разными сейсмическими методами ГСЗ, КМПВ, МОВ ОГТ, МОВЗ и электроразведкой МТЗ. Исследования методами обменных волн землетрясений и магнитотеллурического зондирования на региональных профилях Камчатки и Корякии анализировались при создании схемы сейсмотектонического районирования Корякско-Камчатской складчатой области (А. Г. Нурмухамедов и др., 2014). Для обобщения столь неоднородного материала была применена методика построения плотностных глубинных разрезов по сети профилей, пересекающих сейсмические и заполняющих пространство между ними. Это позволило увязать между собой границы, обнаруженные сейсмическими методами, и создать более однородную цифровую среду глубин для построения карт структурных поверхностей.

Корякско-Камчатский блок листов. В основу глубинной модели коры положены глубинные схемы листов ГК-1000/3 О-57, О-58, Р-58, Р-59 [8–11], актуализированные и увязанные между собой. На эту площадь были построены карты рельефа подошвы коры, определены мощности нижней и консолидированной коры и вулканогенно-осадочного слоя. Вычислен коэффициент «базальтоидности» β , равный отношению мощности нижней коры к мощности всей консолидированной коры, составлена карта, которая использована для районирования.

Здесь и далее в тексте за нижнюю кору принимается гранулит-базитовый слой, для океанических блоков слой III. Верхняя кора — все слои между подошвой верхнего осадочного (вулканогенно-осадочного) слоя и кровлей гранулит-базитового. При двухслойном делении консолидированной коры это гранитно-метаморфический, в океанических блоках слой II. При трехслойном членении в верхнюю кору с гранитно-метаморфическим включается средний диоритовый слой.

Все построения основаны на результатах интерпретации геофизических материалов МОВЗ МТЗ, ГСЗ [1], грави- и магниторазведки. Редкая сеть сейсмических данных дополнена плотностными глубинными разрезами, при расчете которых сейсмические данные использовались как априорные. Была проведена увязка вдоль западной рамки листов О-57 и Р-58 с картой

детализированной модели рельефа подошвы земной коры [14]. Для увязки рассчитывались матрицы глубин в полосе стыка шириной 400 км вдоль западных рамок листов О-57, Р-58.

В южной части полуострова на территории листа N-57 комплект ГК-1000/3 не содержит ни в аналоговом, ни в цифровом виде схемы глубинного строения, карт рельефа подошвы, карт мощностей. Эти карты были созданы из всей имевшейся информации о глубинном строении территории. Основным материалом для расчетов послужили сведения о глубинах на профилях МОВЗ и ГСЗ и ранее рассчитанных плотностных моделей глубинных разрезов [2; 3; 13; 14; 18]. Однако и в этом случае оставались пустые участки. Чтобы их заполнить, были дополнительно смоделированы глубинные плотностные разрезы.

Чукотский блок листов. По территории листов Q-58, Q-60 проходят два профиля комплексных глубинных геофизических исследований 2-ДВ и 2-ДВ-А (В. С. Сурков и др., 2008, 2009). Из отчетов по этим работам для построения матриц глубин основных границ раздела внутри коры (K0 — поверхность консолидированной коры, K2 — поверхность нижней коры) были использованы геолого-геофизические модели в интервалах по профилям 2-ДВ — 0–2090 км и 2-ДВ-А — 0–1032 км. Дополнительно смоделирован плотностной разрез на трех связующих профилях, пересекающих территорию между 2-ДВ и 2-ДВ-А (рис. 1).

Для стыковки карты рельефа подошвы коры с Корякско-Камчатским блоком была использована детализированная модель рельефа подошвы земной коры [12]. Цифровой материал получен из геофизической основы для 3D-структурно-плотностного моделирования. Была рассчитана матрица глубин в полосе шириной 200 км вдоль северной рамки листов Р-58, Р-59, интерполированы изолинии в полосе перекрытия. Исправления внесены в схему стратоизогипс подошвы коры. Карта глубин до подошвы коры была использована при построении первичных (исходных) моделей глубинных плотностных разрезов в Чукотском блоке листов. Отметим, что в дальнейшем, при подборе разрезов, вносить корректировку в ее положение не потребовалось, что косвенно свидетельствует о надежности расчетов. Для районирования листов Q и увязки с Корякско-Камчатским блоком были определены мощности нижней и консолидированной ее частей, вычислен коэффициент «базальтоидности» β .

Методика плотностного моделирования. Существуют различные методики плотностного моделирования, они достаточно хорошо описаны в научной литературе. Ниже кратко изложена технология построения моделей, примененная в данном случае.

Концепция моделирования основана на представлениях о слоисто-блоковом строении земной коры и региональном распространении основных границ раздела внутри нее (Мохо, кровли консолидированной коры и др.). Плотностное

моделирование включает два основных этапа: составление первоначального (исходного) геолого-геофизического разреза и его корректировку по результатам сравнения вычисленной теоретической аномалии с графиком аномалии, наблюдаемой приборами. Технология моделирования представлена несколькими последовательными шагами. Сначала на выбранном профиле по геологической карте составляется геологический разрез (упрощенный в масштабе исследований) его приповерхностной части. Далее границы геологических тел на разрезе заменяются ломаными линиями. Эти линии образуют контуры сечений горизонтальных призм бесконечных либо ограниченных по простиранию перпендикулярно профилю. Каждой призме назначается плотность в соответствии с литологией и структурно-текстурными особенностями геологических тел, которые они представляют. Для тонких слоев в масштабе модели применяется принцип эквивалентности (объединение в один слой нескольких маломощных и придание ему усредненной плотности). Ограничение (3/4D) перпендикулярно профилю накладывается на тела крупных интрузий (по градиентам или особым точкам соответствующих аномалий) и в крупных блоках сильно расчлененного рельефа (хребты).

Следующий шаг — достраивание глубинной части разреза. Здесь наиважнейшее значение имеют априорные данные, полученные при глубинных зондированиях методами сейсморазведки, электроразведки, если таковые имеются. Как правило, их либо нет, либо количество таких данных невелико, не более чем в одном-двух местах расчетного профиля (если только не моделируется сам сейсмический разрез). Глубины до основных границ раздела в коре, полученные этими методами, являются опорными для дальнейших построений. Восполнить недостаток априорных знаний позволяет количественная интерпретация гравитационного поля методом нахождения особых точек. Метод не требует геологических данных о возмущающих объектах. В его основе — локализация особенностей аномального поля путем разделения на локальные составляющие, вызванные одиночным объектом или его частью (особой точкой) с подавлением влияния других окружающих точек. В результате интерпретации определяются координаты наиболее устойчивых точек, характеризующих на профиле-разрезе углы объектов большой горизонтальной и вертикальной мощности, кромки, центры тел, а также углы наклона граней (в профильном варианте). В площадном (3D) варианте особые точки группируются по структурному индексу, который сопоставляется по геометрической форме с типовыми классами геологических тел: дайками, уступами, 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). Глубина исследований методом особых точек зависит от размеров исследуемых аномалий и размеров площади, на которой они изучаются, и обычно заключена в интервале от 0 до 25–30 км. Попадающие в плоскость разреза и вблизи его в полосе 200–500 м особые точки используются для достраивания геологических тел (блоков) в глубину. При составлении первичного разреза весь профиль разбивается на сегменты по уровню наблюдаемого поля и его характерным особенностям. В конце всего проводится собственно моделирование, которое заключается в подборе геометрии и плотности тел до максимального совпадения теоретического графика Δg с графиком наблюдаемой аномалии. Приведен пример подобранных разрезов вдоль профиля МОВЗ и разреза, пересекающего сейсмические профили (рис. 2).

Одной из важных структурных поверхностей является кровля регионально-метаморфизованных пород — кристаллической консолидированной коры (K0). С консолидированной корой ассоциируют небольшие выходы метаморфических пород амфиболитовой и гранулитовой фаций на площади листов Q-58 [4], P-58 [10], N-57 [7]. На остальной территории эта поверхность перекрыта мощным вулканогенно-осадочным слоем.

В качестве первичного представления кровли консолидированной коры на разрезах принята интерполированная поверхность глубин до особых точек со структурным индексом однородности 2, полученных при анализе наблюдаемых аномалий Буге с плотностью промежуточного слоя 2,67 г/см³. Сопоставление поверхности с границей K0 на разрезе МОВЗ с. Хаилино — р. Пахача показало их конформность и близкие значения глубин. Подобная картина наблюдается и в моделях на Камчатке (рис. 2, Б). Кровля консолидированной коры удовлетворительно «сбивается» и на пересечении плотностных моделей с геолого-геофизическими моделями 2-ДВ, 2-ДВ-А. В дальнейшем при подборе положение кровли в отдельных блоках уточнялось решением прямой задачи. Опорные глубины до нижней коры на флангах Чукотских разрезов взяты из 2-ДВ и 2-ДВ-А и плотностных моделей на листе P-59.

Отметим, что плотностное моделирование — процесс трудоемкий, но оправданный. Если изучаемую территорию покрыть достаточно густой сетью пересекающихся разрезов, то можно построить воксельную (объемного изображения) модель плотности с 3D-визуализацией и возможностью выделения любой изоповерхности заданной плотности [13; 14]. Это значительно улучшает выявление и восприятие глубинных структур. Такая плотностная модель составлена на листы P-58 и P-59 (рис. 3).

Для интерпретации были использованы цифровые массивы гравиметрических карт геофизических основ ГК-1000/3.

Все вычисления и построения проведены программами Geosoft (Oasis Montaj, 3D Euler, GM-SYS), ArcGis и ArcView.

Кроме карты подошвы коры были построены карты структурных поверхностей: разделяющей нижнюю и верхнюю части коры; консолидированной коры; и карта коэффициента «базальтоидности» β . Карты мощностей получены вычитанием глубин в точках регулярной сети (гридов) соответствующих поверхностей: подошвы коры — кровли нижней коры, подошвы коры — кровли консолидированной коры. Мощность вулканогенно-осадочного слоя получена как сумма высоты рельефа и глубин до консолидированной коры, для чего была построена матрица рельефа по горизонталям и изобатам цифровой топоосновы.

На Чукотских листах для построения матриц создана база данных глубин залегания соответствующих поверхностей, снятых с геолого-геофизических моделей по профилям 2-ДВ, 2-ДВ-А и линиям плотностных моделей (рис. 1). Шаг снятия значений глубин по 2-ДВ, 2-ДВ-А составил 25 км. Из плотностных моделей экспортированы все линии (вершины), описывающие соответствующие границы в цифровых разрезах. Для увязки со смежной с юга территорией определены координаты вершин на изолиниях, характеризующих соответствующие поверхности в полосе шириной 50 км. За границу М на плотностных разрезах принята граница блоков с плотностью 3,22–3,33 г/см³, для кровли нижней коры 2,9–3,04 и консолидированной — 2,72–2,83 г/см³. Далее были построены регулярные сетки (гриды) 5 × 5 км, с которыми и проводились необходимые математические операции (вычитание, деление). Результирующие матрицы сглажены палеткой 9 × 9 узлов и интерполированы в карты изолиний: коэффициента «базальтоидности» β , мощности консолидированной коры и мощности вулканогенно-осадочного слоя. Среднеквадратичная погрешность интерполяции для сглаженных матриц не превышает 1400 м. Карты изолиний увязаны с таковыми из Корьякско-Камчатского блока листов.

На листе N-57 для построения карт структурных поверхностей с сейсмических разрезов на профилях МОВЗ были определены глубины до границ М, К2 и К0. На плотностных моделях за границу М принята граница блоков с плотностью 3,2–3,4, для кровли нижней коры 2,9–3,02 и консолидированной — 2,74–2,85 г/см³. Полученная таким образом база данных глубин преобразована в матрицы регулярной сети 5 × 5 км по каждой структурной поверхности, которые и использованы для получения карт глубин и мощностей, а также карты коэффициента «базальтоидности» β . Среднеквадратичная погрешность интерполяции для сглаженных (палетка 9 × 9) матриц составила 1100–1200 м.

Тектоническое районирование. Существуют различные подходы к тектоническому районированию региона и множество авторских

вариантов тектонических схем. Следует отметить, что многие проблемы геологического строения и тектонического районирования являются предметом постоянных дискуссий и в рамках статьи в силу большого объема материалов не могут быть все отражены. В настоящей работе обобщены, увязаны и уточнены, в т. ч. с учетом представленной глубинной модели, схемы тектонического районирования, составленные при подготовке листов ГК-1000/3 [4–11], учитывающие результаты всех геолого-геофизических исследований. Работы выполнены при составлении фрагмента бесшовных карт м-ба 1 : 1 000 000 в пределах Чукотско-Корьякско-Камчатского региона (А. В. Разумный, Б. А. Марковский и др., 2019). Районирование основано на позиции и возрасте становления структурных сооружений, геологическом возрасте, формационной принадлежности и условиях формирования слагающих их комплексов с учетом строения земной коры.

Глубинное строение. Главным критерием для районирования коры на блоки является ее мощность. В качестве дополнительных — расслоенность, мощность консолидированной ее части и коэффициент «базальтоидности» β . На всей территории Чукотско-Корьякско-Камчатского блока листов земная кора представлена тремя типами: океаническим, переходным и континентальным (рис. 4).

Океанический тип слагает глубоководные котловины окраинного Берингова моря — Командорскую и Алеутскую — и небольшой фрагмент краевого океанического вала Зенкевича на юго-востоке площади. Мощность коры изменяется от 12 до 24 км. В блоках с корой океанического типа в 1,5–2 раза увеличена толщина III нижнего океанического слоя по сравнению со II. Коэффициент «базальтоидности» β превышает 0,5 и достигает значений 0,8–0,85. Для большей части Командорской впадины толщина осадков не более 1–2 км, и только вблизи камчатского шельфа наблюдается их увеличение до 3–4 км. Для блока океанического вала мощность осадочного слоя до 2 км. На незначительном по площади фрагменте Алеутской котловины мощность осадков около 4 км, но в сторону шельфа Олюторского залива она увеличивается, превышая в прибрежной впадине 10 км.

Земная кора переходного типа обладает мощностью 20–30 км и $\beta = 0,6–0,7$. Переходная кора слагает окраину суши, шельф и континентальный склон. Для блоков этого типа коры характерно резкое увеличение ее мощности (на 4–10 км) в направлении от океана в сторону суши и преобладание нижнего слоя консолидированной коры над верхним при ее двухчленном строении. Мощность вулканогенно-осадочного слоя изменяется от 2 до 10 км. Максимальная мощность осадков для переходной коры отмечается на шельфе между Шипунским и Кроноцким полуостровами, а также на шельфе Олюторского залива.

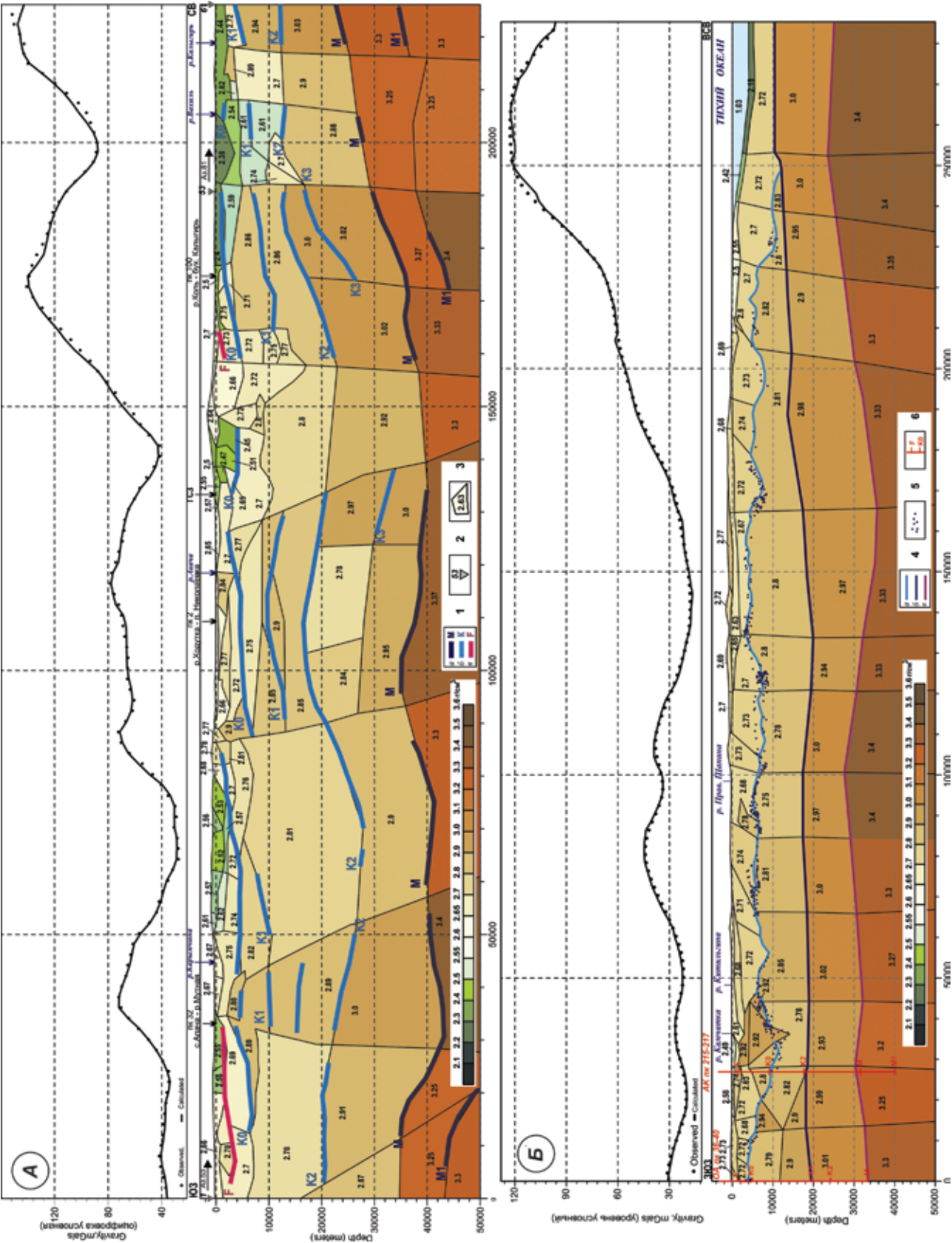


Рис. 2. Плотностные модели вдоль профиля МОВЗ гора Олапа — река Вахиль (А) [18] и разрез по линии R-2_19 (Б)

1 — сейсмические границы по данным МОВЗ (а — граница М и границы в верхней мантии; б, в — другие сейсмические границы в земной коре); 2 — точки МОВЗ и их номера; 3 — границы блоков и подобранные значения плотности (г/см^3); 4 — кровля консолидированной коры (а), кровля гранито-базитового слоя (б), подошва коры (в); 5 — проекции особых точек (индекс 2) на плоскость разреза в полосе шириной 500 м вдоль профиля; б — пересечение с профилями МОВЗ и отметки сейсмических границ на них

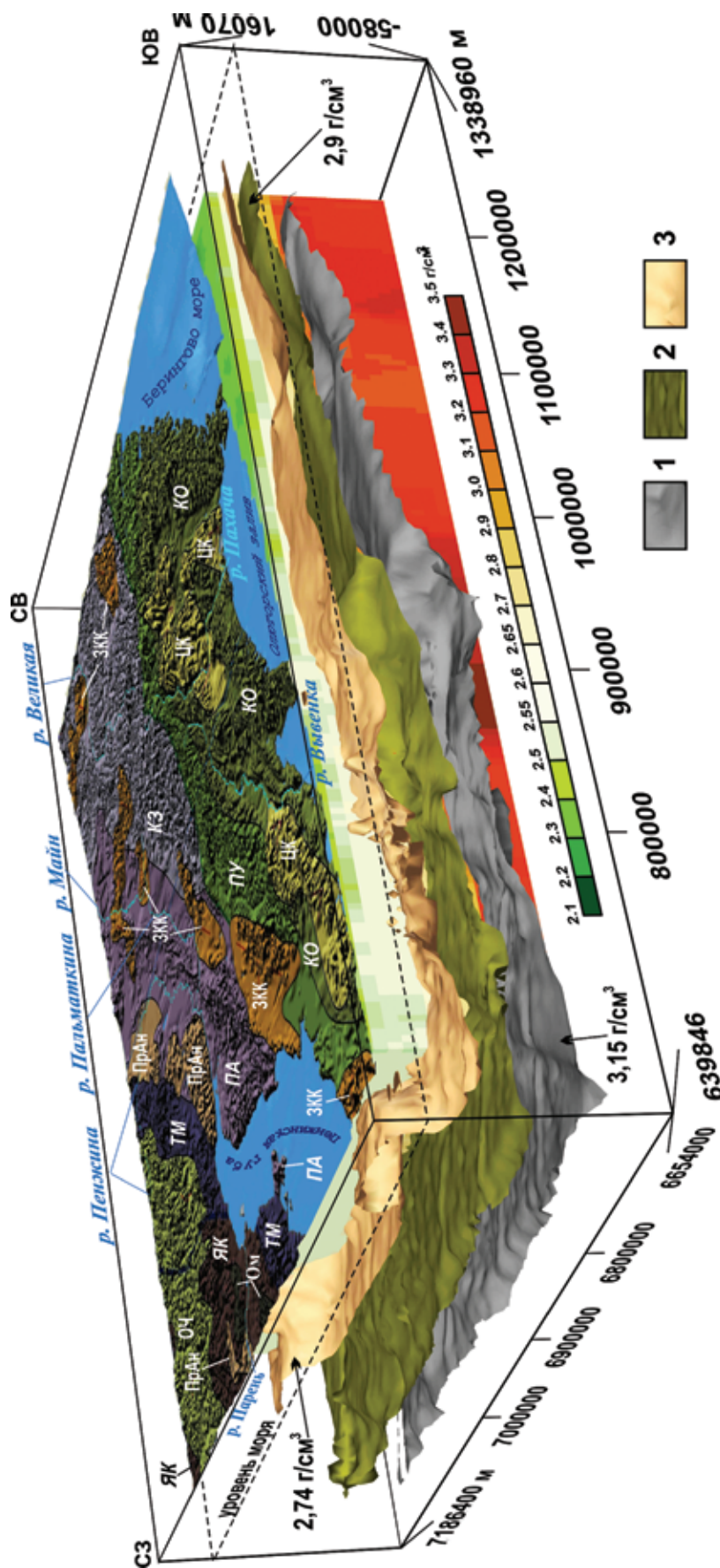


Рис. 3. Плотностная модель листов Р-58, Р-59. Вид с юго-запада. Вертикальный масштаб увеличен в 2 раза по отношению к горизонтальному. Поверхность рельефа на суше драпирована изображением схем тектонического районирования (см. рис. 5) и поднята на 6 км. Часть ячеек (вокселей) модели загашена для того, чтобы показать морфологию изоплотностных поверхностей, выделенных по модели в глубинных зонах главных структурных границ; перехода от коры к мантии, между нижней и верхней частями консолидированной коры и ее кровли

1–3 — изоповерхности с плотностью (г/см^3): 3,15 (1), 2,90 (2) и 2,74 (3)

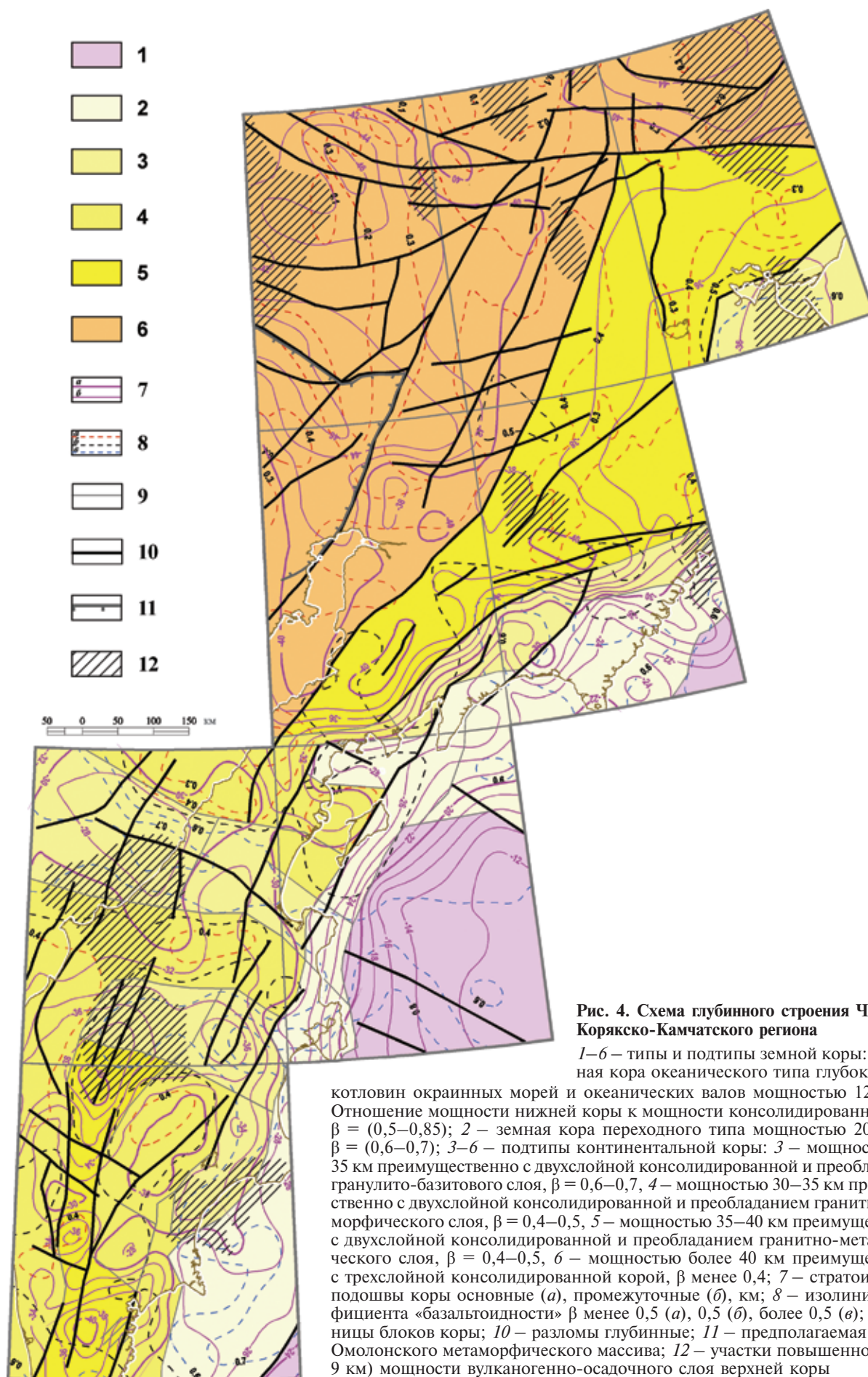


Рис. 4. Схема глубинного строения Чукотско-Корякско-Камчатского региона

1–6 – типы и подтипы земной коры: 1 – земная кора океанического типа глубоководных котловин окраинных морей и океанических валов мощностью 12–24 км. Отношение мощности нижней коры к мощности консолидированной коры $\beta = (0,5–0,85)$; 2 – земная кора переходного типа мощностью 20–30 км, $\beta = (0,6–0,7)$; 3–6 – подтипы континентальной коры: 3 – мощностью 30–35 км преимущественно с двухслойной консолидированной и преобладанием гранулитно-базитового слоя, $\beta = 0,6–0,7$, 4 – мощностью 30–35 км преимущественно с двухслойной консолидированной и преобладанием гранитно-метаморфического слоя, $\beta = 0,4–0,5$, 5 – мощностью 35–40 км преимущественно с двухслойной консолидированной и преобладанием гранитно-метаморфического слоя, $\beta = 0,4–0,5$, 6 – мощностью более 40 км преимущественно с трехслойной консолидированной корой, β менее 0,4; 7 – стратоизогипсы подошвы коры основные (а), промежуточные (б), км; 8 – изолинии коэффициента «базальтоидности» β менее 0,5 (а), 0,5 (б), более 0,5 (в); 9 – границы блоков коры; 10 – разломы глубинные; 11 – предполагаемая граница Омолонского метаморфического массива; 12 – участки повышенной (более 9 км) мощности вулканогенно-осадочного слоя верхней коры

На описываемой территории наибольшее распространение имеет кора континентального типа, мощность которой превышает 30 км, а коэффициент «базальтоидности» β преимущественно меньше 0,5. По внутреннему строению консолидированной части континентальной коры можно выделить двухслойные и трехслойные блоки. Для трехслойной коры коэффициент «базальтоидности» β заметно менее 0,5, что свидетельствует о сокращенной мощности плотного нижнего слоя. Для большинства трехслойных блоков значение коэффициента составляет 0,2–0,3. Полная мощность коры в этих блоках превышает 40 км, достигая местами 44–46 км и более. Кора этого подтипа слагает северную и северо-западную части территории. По сейсмическим данным 2-ДВ и 2-ДВ-А, консолидированная кора обладает трехслойным строением, разделяясь на нижний гранулитобазитовый, средний диоритовый (амфиболитовый у авторов) и верхний гранитно-метаморфический (гранито-гнейсовый у авторов) слои.

Для трехслойных блоков доминирующая толщина консолидированной коры достигает 40–44 км. В утолщенной части расположен Омолонский метаморфический массив.

Южнее и юго-восточнее земная кора обладает мощностью менее 40 км, преимущественно с двухслойной консолидированной и незначительным превышением по мощности ее верхней части над нижней. Преобладают значения коэффициента «базальтоидности» β в интервале 0,4–0,5, что свидетельствует об увеличении толщины нижнего слоя в этом направлении. Кора с двухслойным типом слагает всю расположенную к югу сушу.

Деление консолидированной части коры на два или три слоя в некоторой степени условно. Так, на профилях МОВЗ на отдельных участках выделяются внутрикоровые границы обмена К1, расположенные между К0 (кровля гранитно-метаморфического слоя), и К2 (кровля гранулитобазитового слоя), которые не всегда уверенно трассируются вдоль профилей. В плотностных моделях блоки средней коры, кровля которых отмечается границей К1, часто незначительно отличаются от вышележащих, а иногда имеют одинаковую с ними плотность. Такие интервалы можно отметить и на профиле 2-ДВ.

Континентальная кора с преимущественно двухчленным строением ее консолидированной части разделена на подтипы по общей мощности и соотношению консолидированных слоев. Первый подтип – кора мощностью 30–35 км с преобладанием гранулитобазитового слоя, коэффициент «базальтоидности» $\beta = 0,6–0,7$. Второй подтип – кора мощностью 30–35 км и преобладанием гранитно-метаморфического слоя, коэффициент «базальтоидности» $\beta = 0,4–0,5$. Третий подтип – кора мощностью 35–40 км и преобладанием гранитно-метаморфического слоя, коэффициент «базальтоидности» $\beta = 0,4–0,5$.

Мощность вулканогенно-осадочного слоя в блоках с континентальной корой изменяется от

нуля в районах выходов кристаллических пород фундамента (Срединный, Ганальский, Омолонский массивы) до 12–13 км во впадинах. Максимальная толщина этого слоя наблюдается в Охотоморской мегавпадине, в прибрежной части между полуостровами Шипунский и Кроноцкий, в Нижне-Анадырском прогибе, а также в местах тектонического скучивания в пределах Алазейско-Олойской и Чукотской складчатых систем.

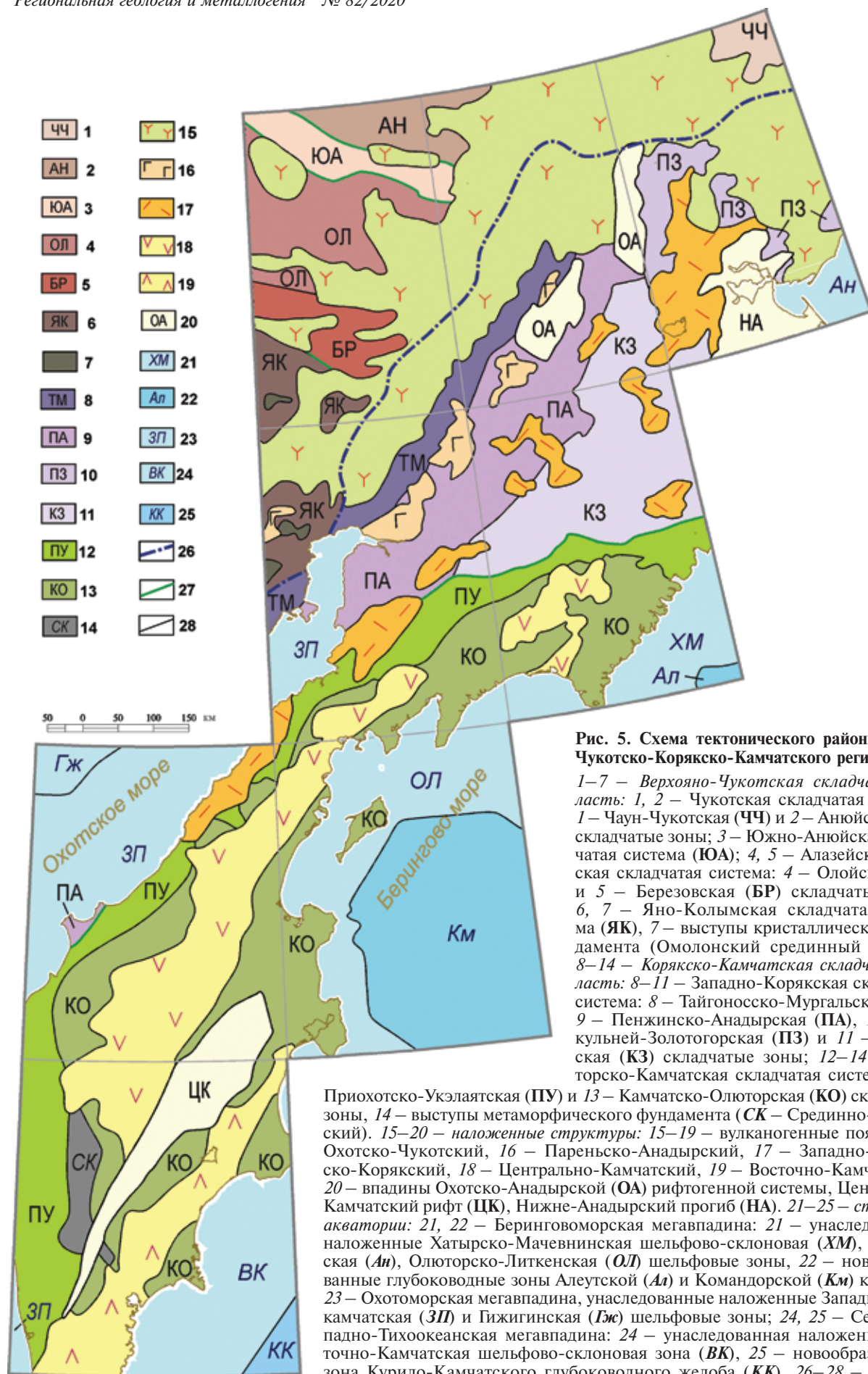
Вся информация по каждому блоку: тип, мощности коры, нижней и консолидированной ее частей, мощность вулканогенно-осадочного слоя, коэффициент «базальтоидности» β приведены в цифровой модели в атрибутивных таблицах и легенде.

На схему вынесены разломы, в обобщенном виде ограничивающие блоки коры либо подчеркивающие особенности их внутреннего строения. Все они проявлены в геофизических полях, сейсмических и плотностных разрезах и выделяются различными признаками – ступени, цепочки аномалий, линейные зоны градиентов, трассируемые закономерные искажения, линии и узлы особых точек и т. п. Все вынесенные на схему разломы относятся к глубинному типу.

Тектоническое районирование. По обобщающим геолого-геофизическим исследованиям материалов [4–6; 10; 11] территория принадлежит к Верхояно-Чукотской и Корякско-Камчатской складчатым областям (рис. 5). Верхояно-Чукотская складчатая область мезозой состоит из ряда складчатых зон Яно-Колымской, Алазейско-Олойской, Чукотской и Южно-Ануйской складчатых систем с общим северо-западным – близширотным простиранием складчатых структур и характеризуется континентальной земной корой расчетной мощности 40–47 км.

Яно-Колымская складчатая система (с Омолонским кратонным блоком) своей восточной частью расположена на западе территории. Обладает максимальной для площади (40–45 км) мощностью консолидированной коры. В современной складчато-блоковой структуре складчатой системы отдельные выступы кристаллического фундамента Омолонского массива проявлены выходами архейских и протерозойских метаморфических пород, чередующихся со складчатыми формами, сложенными преимущественно осадочными мелководными палеозойскими и ранне-среднемезозойскими отложениями чехла массива.

Алазейско-Олойская складчатая система представлена Березовской и Олойской складчатыми зонами. *Березовская складчатая зона* обрамляет с севера Омолонский блок Яно-Колымской складчатой системы и сложена преимущественно мелководными вулканогенно-осадочными отложениями девона – карбона и перми, триасовыми мелководными туфогенно-осадочными отложениями верхней юры – нижнего мела. *Олойскую складчатую зону* слагают позднепалеозойские,



среднетриасово-раннеюрские и среднеюрско-раннемеловые терригенно-вулканогенные в ассоциации с plutоническими комплексами образования разновозрастных островодужных систем [4].

Чукотская складчатая система расположена своей южной окраиной в северной части площади, отождествляется с одноименным континентальным блоком с мощным осадочным чехлом и состоит из Чаун-Чукотской и Анюйской складчатых зон. В строении *Чаун-Чукотской складчатой зоны* участвуют в разной степени дислоцированные преимущественно терригенные позднепермско-триасовые, вулканогенно-терригенные позднеюрско-неокомовые и раннемеловые комплексы. *Анюйская складчатая зона* сложена мощным интенсивно дислоцированным пермско-раннеюрским флишеидным комплексом пассивной континентальной окраины [4; 5].

Южно-Анюйская складчатая система представляет собой узкую линейную структуру между смежными Чукотской и Алазейско-Олойской складчатыми системами. Сложена интенсивно дислоцированными, выведенными вдоль разрывных нарушений на разные глубинные уровни океаническими комплексами офиолитовой ассоциации средней-поздней юры, а также микститовыми и флишеидно-турбидитовыми позднеюрско-раннемеловыми образованиями [4; 5; 16; 17].

В латеральном ряду структур, образующих Корякско-Камчатскую складчатую область мезозоид и кайнозоид, выделяются Западно-Корякская и Олюторско-Камчатская складчатые системы с общим северо-восточным простираанием структурных элементов, конформных границе континент — Тихий океан, дискордантных структурам Верхояно-Чукотской складчатой области и осложненных поперечными трансформными зонами дислокаций.

Западно-Корякская складчатая система характеризуется континентальной земной корой и состоит из Тайгоносско-Мургальской, Пенжинско-Анадырской, Корякской и Пекульней-Золотогорской складчатых зон. *Тайгоносско-Мургальская складчатая зона* прослеживается вдоль северо-западной границы складчатой области. В ее строении участвуют вулканогенно-осадочные и вулканогенные в ассоциации с plutоническими образования познетриасового-раннемелового возрастного диапазона, относящиеся многими исследователями к комплексам Удско-Мургальской островодужной системы [5; 15]. По территории листов Q-59, P-58, 59 в сопряжении с Тайгоносско-Мургальской прослеживается *Пенжинско-Анадырская складчатая зона*. Ее выходы отмечены также на западном побережье п-ова Камчатка. *Корякская складчатая зона* занимает восточное, а *Пекульней-Золотогорская* — северо-восточное положения в структуре складчатой системы. В строении зон участвуют находящиеся в сложнейших тектонических взаимоотношениях разноформационные океанические комплексы, в том числе офиолитовой ассоциации от вендского до

юрско-мелового возраста, а также верхнетриасовые — неокомовые туфо-генно-терригенные и меловые преимущественно терригенные отложения [4–6; 10; 11]. По мнению С. Д. Соколова [15], Корякская складчатая зона является самостоятельной складчатой системой.

Олюторско-Камчатская складчатая система кайнозойской складчатости охватывает южную часть Корякского нагорья и практически весь п-ов Камчатка. Она характеризуется континентальной и переходной земной корой и подразделяется на Приохотско-Укэляйтскую и Камчатско-Олюторскую складчатые зоны. *Приохотско-Укэляйтская складчатая зона* прослеживается вдоль западного берега Камчатского полуострова до побережья Берингова моря. В ее пределах вскрываются только верхнемеловые — палеоценовые преимущественно терригенные флишеидные отложения. *Камчатско-Олюторская складчатая зона* расположена юго-восточнее Приохотско-Укэляйтской, охватывая обширную территорию юга Корякского нагорья и большую центральную и восточную части Камчатского полуострова. В строении зоны участвуют комплексы океанического палеобассейна и его окраины: вулканогенно-кремнистые, туфо-терригенные, терригенные меловые — нижнепалеогеновые отложения в ассоциации с мафит-ультрамафитовыми альпинотипными и концентрически-зональными plutоническими образованиями. Последние рядом исследователей (В. Д. Чехович, 1993; Л. М. Парфенов и др., 1993; О. В. Астраханцев и др., 1996; и др.) на основании геохимических характеристик отнесены к островодужным.

На юге Олюторско-Камчатской складчатой системы на стыке складчатых зон расположен *Срединно-Камчатский выступ метаморфического фундамента*, сложенный протерозойскими метаморфическими кристаллическими породами и меловыми гранитоидными и габбронорит-кортландитовыми интрузиями [7]. Рядом авторов совокупность метаморфических комплексов рассматривается в качестве меловых стратонов с последующим их контактовым меловым и региональным эоценовым метаморфизмом (М. И. Кузьмин и др., 2013; М. И. Кузьмин, 2014; И. А. Тарарин и др., 2015; и др.). Выступу отвечает максимальная для Камчатки мощность консолидированной коры (32–36 км), и, вероятнее всего, метаморфические комплексы слагают обособленный среди меловых океанических образований линейный меридионально-ориентированный тектонический блок шириной 50–70 км, прослеживающийся в глубинной структуре в северном направлении до границы листа N-57. В южном направлении его продолжение со смещением на восток предполагается под покровами Восточно-Камчатского вулканогенного пояса. Это подтверждается выходами палеозойских метаморфических пород на Ганальском выступе.

На складчатых структурах площади развиты образования нескольких наложенных вулканогенных поясов различного масштаба, возраста

и геодинамической природы. К зоне сочленения Верхояно-Чукотской и Корякско-Камчатской складчатых областей приурочены образования *Охотско-Чукотского вулканогенного пояса* мелового возраста, сложенного континентальными вулканитами, дифференцированными от основного до кислого состава и ассоциирующими с ними многочисленными интрузиями. В нем проявляется продольная и поперечная зональность, отражающая связь с особенностями строения гетерогенного фундамента (В. Ф. Белый, 1963). Большинство исследователей связывают становление Охотско-Чукотского вулканогенного пояса с развитием активной континентальной окраины андийского типа (Л. М. Парфенов, 1984; Н. И. Филатова, 1988; Л. П. Зоненшайн, Л. М. Натапов, 1990; и др.).

Западно-Камчатско-Корякский вулканогенный пояс маркирует развитие активной континентальной окраины с палеоцена до раннего миоцена, смещающаяся в сторону океана относительно Охотско-Чукотской активной окраины. Он залегает на складчатых структурах Западно-Корякской и Олюторско-Камчатской складчатых систем и сложен наземными вулканитами и интрузивными образованиями от основного до кислого состава. Пояс представляет собой островодужную (на юго-западе), переходящую в окраинно-континентальную (к северо-востоку), вулканогенную структуру [5; 6; 8; 10; 11], сопряженную в тыловой части на всем протяжении с Охотско-Анадырской рифтогенной системой. Вулканические фации последней слагают эоценовый *Пареньско-Анадырский вулканогенный пояс* [10; 11].

Центрально-Камчатский и Восточно-Камчатский вулканогенные пояса среднемиоцен-четвертичного вулканизма Курило-Камчатской островодужной системы смещены еще юго-восточнее, залегают на складчатых структурах Олюторско-Камчатской складчатой системы и сложены дифференцированными базальт-андезит-риолитовыми вулканогенными образованиями в ассоциации с интрузиями. Отдельную группу составляют четвертичные вулканиты *Центрально-Камчатской рифтогенной структуры*, заложенной между Центрально- и Восточно-Камчатским вулканогенными поясами.

Заключение. При составлении фрагмента цифровых бесшовных карт м-ба 1 : 1 000 000 создана модель земной коры переходной зоны континент — океан для Чукотско-Корякско-Камчатского сектора Тихоокеанского складчатого пояса с целью уточнения тектонического районирования территории. Составлена схема глубинного строения в м-бе 1 : 10 000 000. Цифровая модель схемы содержит информацию о морфологии и глубине залегания главных структурных поверхностей — кровли и подошвы консолидированной коры, мощности коры в целом, а также составляющих ее частей (вулканогенно-осадочного, верхнего — гранитно-метаморфического и нижнего — гранулитобазитового слоев).

Для построения схемы применен метод обобщения глубинных геофизических зондирований и увязки с помощью методики плотностного моделирования.

Примененная методика плотностного моделирования в пространстве между сейсмическими профилями дает возможность определить морфологию основных структурных глубинных поверхностей, представлять объемное изображение распределения плотности в отдельных блоках коры с выделением любых заданных изоплотностных поверхностей, что позволяет локализовать внутрикоровые структуры. Например, появилась возможность представить положение глубинных границ Омолонского и Срединно-Камчатского массивов.

Земная кора в регионе представлена тремя типами: океаническим, переходным и континентальным. Тип коры определяется ее мощностью, расслоенностью и соотношением мощностей консолидированной коры и ее нижнего слоя (коэффициент «базальтоидности» β).

Блоками океанического типа с мощностью коры 12–24 км сложены глубоководные котловины Берингова моря и фрагмент краевого океанического вала.

Кора переходного типа обладает мощностью 20–30 км и слагает блоки на окраине суши, шельфе и континентальном склоне Тихого океана и Берингова моря.

Наиболее распространена в регионе кора континентального типа, которая разделена на четыре подтипа. В коре мощностью 30–35 км, преимущественно с двухслойной консолидированной, выделяются подтипы с преобладанием гранулитобазитового и гранитно-метаморфического слоев. Кора мощностью 35–40 км (преимущественно с двухслойной консолидированной) и более 40 км (преимущественно с трехслойной консолидированной) характеризуются преобладанием гранитно-метаморфического слоя.

Блокам с последним подтипом континентальной коры максимальной мощности отвечают мезозойды Верхояно-Чукотской и Корякско-Камчатской (Тайгоносско-Мургальская складчатая зона) складчатых областей, перекрытые меловым Охотско-Чукотским вулканогенным поясом с мощным гранитоидным магматизмом. Юго-восточнее в районе распространения кайнозойда Корякско-Камчатской складчатой области в сторону Тихого океана происходит уменьшение мощности континентальной коры и ее смена переходной. В этом направлении наблюдается смещение во времени активной континентальной окраины, маркируемой положением Западно-Камчатско-Корякского (палеоген — ранний миоцен), Центрально- и Восточно-Камчатского (средний миоцен — квартал) вулканогенных поясов, залегающих на разновозрастных складчатых структурах и отражающих этапы становления гранитно-метаморфического слоя и наращивания континентальной коры [15].

1. Балеста С. Т. Земная кора и магматические очаги современного вулканизма. — М.: Наука, 1981. — 134 с.

2. Геология, полезные ископаемые России. В шести томах. Т. 5: Арктические и дальневосточные моря. Кн. 2: Дальневосточные моря, их континентальное и островное обрамление / под ред. В. П. Орлова, В. К. Ротмана. — СПб.: ВСЕГЕИ, 2005. — 303 с.

3. Глубинное зондирование Камчатки / Г. И. Аносов, С. К. Биккенина, А. А. Попов и др. — М.: Наука, 1978. — 134 с.

4. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (Издание третье). Серия Чукотская. Лист Q-58 — Алискерово. Объяснительная записка / Е. П. Исаева, Т. В. Звизда, Е. И. Лазарева и др. — СПб.: ВСЕГЕИ, 2019. — 371 с. + 4 вкл.

5. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Чукотская. Лист Q-59 — Марково. Объяснительная записка / Г. М. Малышева, Е. П. Исаева, Ю. Б. Тихомиров, Б. В. Вяткин. — СПб.: Картографическая фабрика, 2009. — 226 с. + 1 вкл.

6. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Чукотская. Лист Q-60 — Анадырь. Объяснительная записка / Е. П. Исаева, Т. В. Звизда, Д. Д. Ушакова и др. — СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2016. — 341 с. + 11 вкл.

7. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Корякско-Курильская. Лист N-57 — Петропавловск-Камчатский. Объяснительная записка / Б. И. Сляднев, В. Н. Шаповаленко, Н. Ф. Крикун и др. — СПб.: Картографическая фабрика, 2006. — 376 с.

8. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Корякско-Курильская. Лист O-57 — Палана. Объяснительная записка / Б. И. Сляднев, А. К. Боровцов, Ю. А. Бурмаков и др. — СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2013. — 296 с. + 7 вкл.

9. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Корякско-Курильская. Лист O-58 — Усть-Камчатск. Объяснительная записка / Б. И. Сляднев, А. К. Боровцов, В. И. Сидоренко и др. — СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2013. — 256 с. + 9 вкл.

10. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Корякско-Курильская. Лист P-58 — Пенжинская губа. Объяснительная записка / Б. И. Сляднев, В. И. Сидоренко, Л. П. Сапожникова и др. — СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2015. — 384 с. + 8 вкл.

11. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Корякско-Курильская. Лист P-59 — Пахахи. Объяснительная записка / А. В. Разумный, В. И. Сидоренко, Л. П. Сапожникова и др. — СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2017. — 323 с. + 11 вкл.

12. Кашубин С. Н. Карта мощности земной коры Циркумполярной Арктики / С. Н. Кашубин, О. В. Петров, Е. А. Андросов, А. Ф. Морозов, В. Д. Каминский, В. А. Поселов // Региональная геология и металлогения. — 2011. — № 46. — С. 5–13.

13. Сидоров М. Д. Плотностная модель Камчатского срединного массива // Камчатка-3: Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). Спец. вып. 31. — М.: Горная книга, 2016. — № 11. — С. 83–87.

14. Сидоров М. Д. Технология объемного изображения результатов глубинного плотностного моделирования геологических структур // Камчатка-3: Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-техниче-

ский журнал). Спец. вып. 31. — М.: Горная книга, 2016. — № 11. — С. 9–12.

15. Соколов С. Д. Очерки тектоники Северо-Востока Азии // Геотектоника. — 2010. — № 6. — С. 60–78.

16. Соколов С. Д. и др. Тектоника Южно-Ануйской сuture (Северо-Восток Азии) // Геотектоника. — 2015. — № 1. — С. 5–30.

17. Amato J. M., Toro J., Akinin V. V., Hampton B. A., Salnikov A. S., Tuchkova M. I. Tectonic evolution of the Mesozoic South Anyui suture zone, eastern Russia: A critical component of paleogeographic reconstructions of the Arctic region // Geosphere. — 2015. — Vol. 11, N 5. — Pp. 1–35. — doi: 10.1130/GES01165.1

18. Nurmukhamedov A. G., Sidorov M. D. Deep structure and geothermal potential along the regional profile set from Opala Mountain to Vakhil' River (Southern Kamchatka) // IOP Conference Series Earth and Environmental Science. — 2019. — Vol. 249. — doi: 10.1088/1755-1315/249/1/012041

1. Balesta S. T. Zemnaya kora i magmatische ochagi sovremennogo vulkanizma [The Earth's crust and magma chambers of modern volcanism]. Moscow: Nauka. 1981. 134 p.

2. Geologiya, polezny'e iskopaemy'e Rossii. Tom 5. Arkticheskie i dal'nevostochny'e morya. Kn. 2. Dal'nevostochny'e morya, ih kontinental'noe i ostrovnnoe obramlenie [Geology, mineral resources of Russia. Vol. 5. Arctic and far Eastern seas. Book 2. Far Eastern seas, their continental and island framing]. St. Petersburg: VSEGEI. 2005. 303 p.

3. Anosov G. I., Bikkenina S. K., Popov A. A. i dr. Glubinnnoe zondirovanie Kamchatki [Deep sounding of Kamchatka]. Moscow: Nauka. 1978. 134 p.

4. Isaeva E. P., Zvizda T. V., Lazareva E. I. i dr. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossijskoj Federacii. Masshtab 1 : 1 000 000 (Izdanie tret'e). Seriya Chukotskaya. List Q-58 (Aliskerovo). Ob'yasnitel'naya zapiska [State geological map of the Russian Federation. Scale 1:1,000,000 (Third Edition). A Series of Chukotka. Sheet Q-58 (Aliskerovo). Explanatory note]. St. Petersburg: VSEGEI. 2019. 371 p. + 4 vkl.

5. Maly'sheva G. M., Isaeva E. P., Tixomirov Yu. B., Vyatkin B. V. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossijskoj Federacii. Masshtab 1 : 1 000 000 (tret'e pokolenie). List Q-59 — Markovo [State geological map of the Russian Federation. Scale 1:1,000,000 (third generation). Sheet Q-59 — Markovo. Explanatory note]. St. Petersburg: Kartograficheskaya fabrika VSEGEI. 2009. 226 p. + 1 vkl.

6. Isaeva E. P., Zvizda T. V., Ushakova D. D. i dr. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossijskoj Federacii. Masshtab 1 : 1 000 000 (tret'e pokolenie). Seriya Chukotskaya. List Q-60 — Anadyr' [State geological map of the Russian Federation. Scale 1:1,000,000 (third generation). A Series of Chukotka. Sheet Q-60 — Anadyr'. Explanatory note]. St. Petersburg: Kartograficheskaya fabrika VSEGEI. 2016. 341 p. + 11 vkl.

7. Slyadnev B. I., Shapovalenko V. N., Krikun N. F. i dr. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossijskoj Federacii. Masshtab 1 : 1 000 000 (tret'e pokolenie). Seriya Koryaksko-Kuril'skaya. List N-57 — Petropavlovsk-Kamchatskij [State geological map of the Russian Federation. Scale 1:1,000,000 (third generation). Koryaksko Series. Kamchatka. Sheet N-57 — Petropavlovsk-Kamchatsky. Explanatory note]. St. Petersburg: Kartograficheskaya fabrika VSEGEI. 2006. 376 p.

8. Slyadnev B. I., Borovczov A. K., Burmakov Yu. A. i dr. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossijskoj Federacii. Masshtab 1 : 1 000 000 (tret'e pokolenie). Seriya Koryaksko-Kuril'skaya. List O-57 — Palana [State geological map of the Russian Federation. Scale 1:1,000,000 (third generation). Koryak-Kuril Series. Sheet O-57 — Palana. Explanatory note]. St. Petersburg: Kartograficheskaya fabrika VSEGEI. 2013. 296 p. + 7 vkl.

9. Slyadnev B. I., Borovczov A. K., Sidorenko V. I. i dr. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossijskoj Federacii. Masshtab 1 : 1 000 000 (tret'e pokolenie). Seriya Koryaksko-Kuril'skaya. List O-58 – Ust'-Kamchatsk [State geological map of the Russian Federation. The scale of 1:1,000,000 (third generation). Koryak-Kuril Series. Sheet O-58 – Ust-Kamchatsk. Explanatory note]. St. Petersburg: Kartograficheskaya fabrika VSEGEI. 2013. 256 p. + 9 vkl.
10. Slyadnev B. I., Sidorenko V. I., Sapozhnikova L. P. i dr. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossijskoj Federacii. Masshtab 1 : 1 000 000 (tret'e pokolenie). Seriya Koryaksko-Kuril'skaya. List P-58 – Penzhinskaya guba [State geological map of the Russian Federation. Scale 1:1,000,000 (third generation). Series Koryak-Kuril. Sheet P-58 – Penzhinskaya guba. Explanatory note]. St. Petersburg: Kartograficheskaya fabrika VSEGEI. 2015. 384 p. + 8 vkl.
11. Razumny A. V., Sidorenko V. I., Sapozhnikova L. P. i dr. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossijskoj Federacii. Masshtab 1 : 1 000 000 (tret'e pokolenie). Seriya Koryaksko-Kuril'skaya. List P-59 – Paxachi [State geological map of the Russian Federation. Scale 1:1,000,000 (third generation). Koryak-Kuril Series. Sheet P-59 – Pakhachi. Explanatory note]. St. Petersburg: Kartograficheskaya fabrika VSEGEI. 2017. 323 p. + 11 vkl.
12. Kashubin S. N., Petrov O. V., Androsoy E. A., Morozov A. F., Kaminsky V. D., Poselov V. A. Map of crust thickness of the Circumpolar Arctic. *Region. geologiya i metallogeniya*. 2011. No 46, pp. 5–13. (In Russian).
13. Sidorov M. D. Density model of the median Kamchatka massif. *Kamchatka-3: Gornyy informacionno-analiticheskij byulleten' (nauchno-texnicheskij zhurnal). Special'nyy vy'pusk 31*. Moscow: Gornaya kniga. 2016. No 11, pp. 83–87. (In Russian).
14. Sidorov M. D. The technology of three-dimensional results image of the depth density modeling of geological structure. *Kamchatka-3: Gornyy informacionno-analiticheskij byulleten' (nauchno-texnicheskij zhurnal). Special'nyy vy'pusk 31*. Moscow: Gornaya kniga. 2016. No 11, pp. 9–12. (In Russian).
15. Sokolov S. D. Essays on the tectonics of the North-East of Asia. *Geotektonika*. 2010. No 6. Pp. 60–78. (In Russian).
16. Sokolov S. D. i dr. Tectonics of the South Anyui Suture (Northeast Asia). *Geotektonika*. 2015. No 1. Pp. 5–30. (In Russian).
17. Amato, J. M., Toro, J., Akinin, V. V., Hampton, B. A., Salnikov, A. S., Tuchkova, M. I. 2015: Tectonic evolution of the Mesozoic South Anyui suture zone, eastern Russia: A critical component of paleogeographic reconstructions of the Arctic region. *Geosphere*. 11. 5. 1–35; doi: 10.1130/GES01165.1
18. Nurmukhamedov, A. G., Sidorov, M. D. 2019: Deep structure and geothermal potential along the regional profile set from Opala Mountain to Vakhil' River (Southern Kamchatka). *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*. 249; doi:10.1088/1755-1315/249/1/012041

Сидоров Михаил Дмитриевич — канд. геол.-минерал. наук, вед. науч. сотрудник, Научно-исследовательский геотехнологический центр ДВО РАН (НИГТЦ ДВО РАН). Северо-Восточное шоссе, 30, а/я 56, г. Петропавловск-Камчатский, 683002, Россия. <smd52@mail.ru>

Разумный Алексей Васильевич — вед. специалист, ВСЕГЕИ¹. <Aleksey_Razumnyi@vsegei.ru>

Исаева Елена Петровна — вед. геолог, ВСЕГЕИ¹. <Elena_Isaeva@vsegei.ru>

Sidorov Michail Dmitrievich — Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Leading researcher, Scientific Research Geotechnological Centre FEB RAS (RGC FEB RAS). 30 Severo-Vostochnoe Shosse, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683002, Russia. PO Box 56. <smd52@mail.ru>

Razumny Alexey Vasilyevich — Leading specialist, VSEGEI¹. <Aleksey_Razumnyi@vsegei.ru>

Isaeva Elena Petrovna — Leading geologist, VSEGEI¹. <Elena_Isaeva@vsegei.ru>

¹ Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского (ВСЕГЕИ). Средний пр., д. 74, Санкт-Петербург, 199106, Россия.

A. P. Karpinsky Russian Geological Research Institute (VSEGEI). 74 Sredny Prospect, St. Petersburg, 199106, Russia.