

НОВАЯ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ПОЛЕЙ В РАЙОНЕ СРЕДНЕ-УРАЛЬСКОГО ТРАНСЕКТА СТАТЬЯ 1. ЗАПАДНАЯ ЧАСТЬ УРАЛА

© 2016 г. К. С. Иванов, Н. П. Костров

*Институт геологии и геохимии УрО РАН
620016, г. Екатеринбург, ул. Вонсовского, 15
E-mails: ivanovks@igg.uran.ru; kostrov65@yandex.ru*

Поступила в редакцию 30.05.2016 г.

Принята к печати 30.09. 2016 г.

Построена новая двумерная модель геологического строения в районе Средне-Уральского трансекта до глубины 15 км. Впервые за счет анализа поведения аномальных полей на параллельных профилях при 2D-моделировании плотностных и магнитных свойств данного региона оценивалась применимость самого метода моделирования. Смоделировано глубинное магнитное тело, которое, вероятно, прерываясь местами, является продолжением тела, выявленного в западной части профиля Уралсейс-95. Обсуждены варианты интерпретации этого тела: 1. Блок докембрийских метаморфитов с железистыми кварцитами; 2. Блок коры океанического типа или мантийный диапир (плюм). Более вероятно первое. На западе верхняя (до 3.15–4.8 км) часть разреза представлена сверху раннепермскими терригенными отложениями. Ниже в модели выделяется пачка (мощностью от 0.7 км на западе до 1.7 км на востоке) легких обломочных пород, ниже которых расположены более плотные известняки среднего палеозоя, мощностью от 0.7 км на западе до 1.5 км на востоке. Самый нижний слой осадочного разреза образован преимущественно терригенными толщами, его мощность 1.1–1.3 км. Нижняя часть модели отображает структуры фундамента Русской платформы, который при продвижении на восток всё более погружается под структуры Урала. В 107–125 км по профилю моделирования в фундаменте выявляется интрузия габбро-диоритового состава. С 126 до 142 км профиля моделирования блок терригенных пород, возможно, грабен Русской платформы. Проведено сопоставление блоков фундамента с известными древними метаморфическими комплексами западного склона Урала (тараташским и др.). С 169 км профиля моделирования отмечается падающее на восток, и расширяющееся с глубиной высокомагнитное тело, вероятно серпентинизированных ультрабазитов. В эту часть профиля проецируется Сарановская ультрабазитовая интрузия. Возраст ультрабазитов по циркону составляет 1756 ± 12 млн лет. Два наложенных этапа цирконообразования 464 ± 5 и 439 ± 3 млн лет, можно интерпретировать как возраст тектонической переработки ультрамафитов. Таким образом, Сарановская интрузия, вероятно, представляет собой крайнюю верхнюю часть большого блока, расположенного в 30 км западнее и структурно ниже Главного Уральского Глубинного Разлома (ГУГР). Можно предполагать, что здесь в расчетной модели обнаружили реликты рифейского, достаточно раскрывшегося рифта.

Ключевые слова: Урал, глубинное строение, сейсмопрофиль, гравитационное и магнитное моделирование.

ВВЕДЕНИЕ

Совершенствование представлений о глубинном (объемном) строении Урала и Западной Сибири невозможно без тесного сотрудничества геологов и геофизиков [2, 4, 11, 14, 21, 26, 41–43, 48, 51 и мн. др.]. И чем теснее такое сотрудничество, тем, чаще всего (и при прочих равных...), более значимыми получаются его результаты. Наиболее важными глубинными комплексными сейсмическими профилями, пересекающими Урал, являются международные профили УРСЕЙС-95 (пройденный через северную часть Южного Урала, по линии Стерлитамак-Николаевка) и ESRU 1993-2004, более известный

как Средне-Уральский трансект. Важность этих профилей трудно переоценить – это воистину “золотой фонд” уральской геофизики и геологии, и к данным, полученным в ходе этих широкомасштабных экспериментов, будут многократно обращаться и возвращаться еще очень долгое время. И если УРСЕЙС-95 освещен в литературе достаточно хорошо и постоянно привлекает внимание исследователей [8, 13, 21, 37, 44, 50, 55–59, 60, 62, 67], то Средне-Уральский трансект изучен и интерпретирован пока явно в меньшей степени. Это почти исключительно работы главного автора Средне-Уральского трансекта, одного из лидеров уральской геофизики А.В. Рыбалки, и его коллег, в первую очередь известного гео-

лога Г.А. Петрова [21, 32–34, 40–42, 44]. Поскольку при этом обильная фактура, полученная при проведении трансекта, остается в основном “за кадром” и геолого-геофизическая общественность знакомится главным образом лишь с выводами, сделанными этими исследователями. Иногда при этом бывает не вполне понятно, что же действительно доказано, а что – лишь в той или иной мере обоснованные предположения авторов трансекта. Поэтому нами была предпринята (с использованием иных методических приемов, часть из которых авторские [24, 25, 68]) новая интерпретация профиля аппроксимирующего трансекта, которая облегчалась и тем, что К.С. Иванов был официальным рецензентом заключительного отчета по работам по Средне-Уральскому трансекту и имел возможность ознакомиться при этом и с весьма обширными исходными экспериментальными данными. При написании статьи по возможности использовались и данные геологических съемок.

Значение Средне- и Южно- Уральских трансектов особенно велико, поскольку Урал является одним из признанных мировых эталонов линейных складчатых орогенов с полным циклом геодинамического развития [13, 20, 37, 52], он прошел следующие этапы: предрифтовый (рифей–венд); континентального рифтогенеза (кембрий–нижний ордовик); океанического спрединга (средний–верхний ордовик); островодужный (верхний ордовик–верхний девон); коллизионный (верхний девон–пермь); ограниченного пост-орогенного растяжения (триас) и субплатформенный. Для Урала характерны такие уникальные черты как присутствие глубинных “корней гор”, наличие хорошо сохранившихся офиолитовых и островодужных андезитовидных комплексов, пояса высокобарических метаморфитов, гранитно-метаморфического пояса, а также присутствие крупных и разнообразных рудных месторождений и др. В то же время сравнительно слабая в целом обнаженность региона настоятельно требует комплексного использования геофизических и геологических данных. Без этого в частности невозможны обоснованные металлогенические прогнозы, построение геологических и геодинамических моделей строения и развития Урала и пр.

Обработка композиционного опорного геолого-геофизического профиля “Средне-Уральский трансект” (международное название ESRU – *Europe Seismic Reflection profiling in the Urals*) была закончена в конце 2006 г [32, 42, 41, 65]. Общая длина отработанных сейсмических профилей составила 741 км. Субширотный трансект на западе начинается у г. Кунгур Пермской области, проходит рядом с городами Кушва, Красноуральск, пос. Басьяновский в Свердловской области и заканчивается на востоке у пос. Куминский Тюменской области. Он пересекает все главные структуры Уральского орогена, начинаясь на западе в пределах Русской платформы и заканчиваясь в пределах Тюменско-

Кустанайского прогиба Западно-Сибирской плиты. Основной объем работ был выполнен российскими геофизиками. На начальном этапе в полевых работах принимали участие исследователи из Швеции.

В результате обработки и переобработки сейсмических материалов по единому графу с учетом кривизны трассы профилей удалось получить сводный сейсмический разрез и геолого-геофизическую модель по Средне-Уральскому трансекту длиной 566 км. Были собраны, проанализированы, комплексно проинтерпретированы и включены в электронный атлас “Средне-Уральский трансект” обширные геолого-геофизические данные в 50-километровой полосе вдоль трансекта [42, 41].

В связи с тем, что Средне-Уральский трансект, пересекая вкрест все Уральские структуры, проходит в очень разных сейсмогеологических условиях, то и выразительность сейсмического разреза на разных интервалах по латерали и глубине различная. Немигрированный временной разрез (особенно без нормировки амплитуд после суммирования по ОГТ) показывает, что весь сейсмический разрез состоит из вертикальных полос большей или меньшей интенсивности, что определяется главным образом условиями возбуждения и приема сейсмических волн, т.е. поверхностными условиями, а не кажущейся вертикальностью геологических элементов в разрезе земной коры. На мигрированном глубинном сейсмическом разрезе ОГТ эти полосы микшируются, и поверхностные условия не так явно сказываются на картине глубинного строения земной коры [42, 41, 44].

Одной из главных задач исследований на Средне-Уральском трансекте являлось построение глубинной геолого-геофизической модели земной коры, исходными данными для построения которой послужили: глубинный сейсмический разрез ОГТ по Средне-Уральскому трансекту, глубинные разрезы по данным ГСЗ по Красноуральскому, Ханты-Мансийскому профилям и геотраверсу “Гранит” [7], качественные скоростные характеристики продольных волн в сечении трансекта по переобработанным годографам первых вступлений по этим профилям ГСЗ [65], данные по распределению поля силы тяжести и аномального магнитного поля вдоль трансекта в плане (карты) и в разрезе (графики), выборки по физическим свойствам горных пород в полосе трансекта, сведения о геологии поверхности.

На сейсмическом разрезе ОГТ на всю глубину исследований отчетливо выделяется три сеймо-структурных этажа: нижний – почти не содержащий регулярных отражений; средний – представленный, скорее не отдельными отражающими границами, а отражающими зонами, дифференцированный по более или менее интенсивной отражаемости иногда с хаотичным, иногда с более упорядоченным распределением отражений; и верхний (только в западной и восточной частях разреза) –

содержащий наиболее контрастные протяженные субгоризонтальные отражающие границы. В общем нижний сейсмоструктурный этаж соответствует мантии, средний – консолидированной земной коре, верхний – осадочному чехлу. Тем не менее, границы между этими этажами не везде отчетливы. Консолидированная земная кора делится, в свою очередь, на три подэтажа: верхнюю, среднюю и нижнюю кору [42, 41].

В целом наиболее яркие элементы верхней коры на Среднем Урале формируют его бивергентный образ, особенно в центральной части орогена [41], что ранее было установлено и для Южного Урала профилем Уралсейс-95 (а еще ранее – первоисследователями геологии Урала, не менее 100 лет тому назад). Нижняя кора также бивергентна, но ось ее бивергентности смещена на 50-60 км к западу по отношению к оси в верхней коре. Верхняя мантия при этом скорее моновергентна. В самом верху верхней мантии можно заметить отдельные очень слабые границы западного падения, возможно, проникающие в мантию из нижней коры. Однако в целом верхняя мантия представлена практически немой толщей, за исключением одной достаточно выразительной полого падающей на запад отражающей зоны, прослеживаемой до глубин около 80 км. Эта зона прослеживается еще западнее, чем ось бивергентности нижней коры [41].

Подтверждено ранее отмечавшееся наличие мощной переходной зоны “кора-мантия” со значениями скоростей продольных волн 7.5–7.8 км/с (т.е. слишком высокими для типичной коры, но слишком низкими для мантии), что является одной из отличительных особенностей Уральского орогена. Верхняя кора наиболее контрастна на сейсмическом разрезе. Именно здесь четко выделяются не только отражательные зоны, но и яркие отражающие границы, нередко группирующиеся в пакеты отражений. Многие из этих границ достаточно крутые, достигают углов падения 40–45°, а некоторые и 60°. Более крутые границы, если и существуют в разрезе, то они практически не видны. Локальные зоны протяженных сильных границ проявляются, как правило, до глубин 10–15 км. Очевидно, это связано со сменой реологических свойств среды [64] и переходом от преимущественно хрупких к преимущественно пластичным деформациям [41, 40].

Специальные приемы обработки сейсмических материалов дают возможность проследить некоторые наклонные отражения в сложно построенных областях вплоть до подхода их к дневной поверхности. Это позволило отождествить ряд сейсмических отражателей с картируемыми геологическими границами [42, 41, 40, 32, 33]. Таким образом при исследованиях по Средне-Уральскому трансекту получен ряд принципиально новых сведений, позволивших существенно уточнить систему взглядов на строение литосферы Урала и западной части

Западной Сибири [42, 41]. Главными из них можно считать следующие:

1. Главные Уральские структуры – Западно-Уральская, Центральнo-Уральская, Тагильская и значительная часть Восточно-Уральской мегазоны находятся в аллохтонном залегании, то есть представляют собой частично сорванные бескорневые структуры. Местами под аллохтонами сохранились фрагменты осадочного чехла Восточно-Европейской платформы и Восточно-Уральского “микроконтинента”, возможно перспективные на углеводородное сырье.

2. В целом, земная кора Урала имеет бивергентное строение. Ось бивергентности верхней и средней коры приходится на Тагильский мегасинклинорий. Нижняя кора также бивергентна, но ось ее бивергентности на Среднем Урале смещена на 50-60 км к западу по отношению к оси в верхней коре, в то время как на Южном Урале (по данным профиля URSEIS-95) черты бивергентности верхней и нижней коры соосны.

3. Верхняя мантия скорее моновергентна, но она практически лишена сейсмических отражателей, кроме одной полого падающей на запад отражающей зоны, прослеживаемой до глубин около 80 км. Эта тектоническая структура погружается в мантию под Центральнo-Уральской мегазоной и прослеживается на глубине до середины области, над которой на поверхности выделяется Предуральский прогиб.

4. Главный Уральский глубинный разлом (ГУГР), представляет собой на дневной поверхности мощную сланцевую зону, ярко выраженную на сейсмическом разрезе в верхней коре и падающую практически без выполаживания на восток под углом около 45°, не глубже 30 км. Глубже она срезается структурой, вероятно, продолжающей в земной коре упомянутую выше мощную внутримантийную зону западного падения.

5. Доступные для наблюдения фрагменты гнейсово-амфиболитовых и гранулитовых комплексов Восточно-Уральской мегазоны имеют палеозойский (девонско-пермский) возраст метаморфизма и сформировались по гетерогенному субстрату [42, 41, 32].

Все перечисленные выводы являются несомненными достижениями авторов Средне-Уральского трансекта [42, 41, 40, 33].

В данной статье приведена новая модель строения верхней и средней (до глубины 15 км) части земной коры вдоль западной половины Средне-Уральского трансекта, охватывающей западный, палеоконтинентальный сектор Уральского складчатого пояса, до зоны ГУГР.

МЕТОДИКА

На рис. 1 показано положение нашего профиля моделирования, аппроксимирующего Средне-Уральский трансект (СУТ) целиком, а также дана географическая привязка профиля моделирования

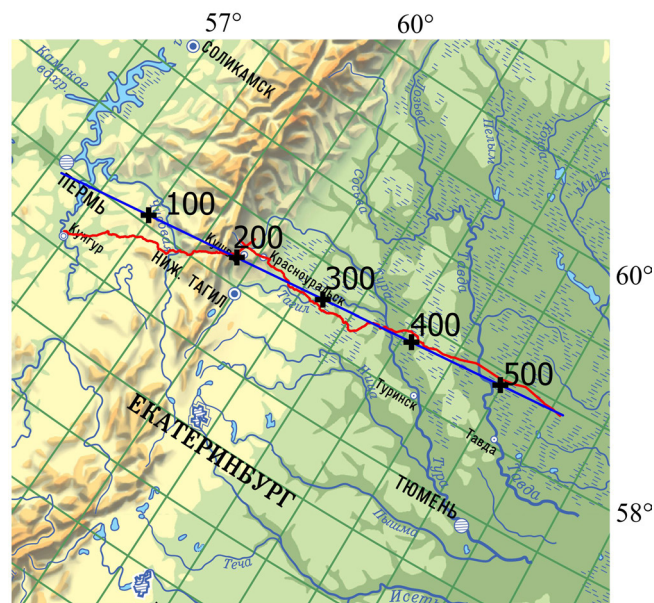


Рис. 1. Профиль для интерпретации (жирная синяя линия с крестообразными отметками) и Средне-Уральский трансект (жирная красная кривая).

Подписи (100–500) – расстояние от начала профиля в километрах.

Fig. 1. Interpretation profile (thick blue line with crosses) and the ESUR transect (thick red curve).

Subscriptions (100–500) are distances along the profile in km.

с указанием отметок в км, совпадающих с приведенными на рис. 2–6. Цель работы – интерпретация западной части профиля моделирования, аппроксимирующего СУТ (с 0 до 200 км) на основе моделирования аномального гравитационного поля и аномального магнитного поля (АМП) с учетом геологических границ, полученных по результатам сейсмического профилирования [41]. Мы считаем, что локальное аномальное гравитационное поле создается верхней частью земной коры, до 15 км в глубину (обоснование – в [2, 25, 54]). В основе моделирования – метод расчета АМП с учетом размагничивания [68], в котором сечения тел триангулируются, а эффект размагничивания учитывается при решении системы интегральных уравнений для множества треугольных призм, от которых также считается аномальное гравитационное поле. Так как предметом исследования является структура земной коры до глубины 15 км вдоль профиля моделирования, из АМП была исключена длинноволновая составляющая от источников глубже 15 км. Интерпретация осуществлялась в авторском программном комплексе 2D- и 3D-моделирования [25]. Метод 2D-моделирования применим, когда аномалии вытянуты по простиранию, а профиль моделирования их пересекает, то есть когда источниками являются узкие и длинные (в пределах бесконечно длин-

ные) тела. Характерным свойством аномальных полей вдоль параллельных профилей, пересекающих такие аномалии, будет подобие кривых на этих профилях. Когда такого подобия нет совсем или подобие кривых слабо выражено, то 2D-метод даст либо приблизительные результаты, либо покажет невозможность подбора, как в случае моделирования АМП при определенных ограничениях, таких как сейсмические границы. Либо, если от этих ограничений отказаться, приведет к совершенно фантастической картине, ничего общего с реальным геологическим строением не имеющей. Поэтому, анализу поведения аномальных полей на параллельных профилях мы уделили некоторое внимание в настоящей работе для контроля качества интерпретации. В предыдущем исследовании анализировались карты целиком в полосе ± 50 км, но в статьях этот анализ не был опубликован [41, 40].

Так как мы в данной работе изучаем почти исключительно верхние 15 км земной коры, то исходное АМП вдоль профиля моделирования и АМП вдоль параллельных профилей были отфильтрованы методом нелинейной фильтрации [66]. Это сделано, чтобы исключить длинноволновую составляющую поля, ответственную за обширную (от 30 до 170 км вдоль профиля моделирования) аномалию, и другие аномалии, источники которых лежат на глубинах более 15 км. Моделирование глубинного магнитного тела позволило определить оптимальные параметры для нелинейной фильтрации. Именно это фильтрованное АМП мы и используем для дальнейшего анализа.

ГЛУБИННОЕ МАГНИТНОЕ ТЕЛО

На рис. 2 показана глубинная магнитная структура западной части профиля моделирования по результатам 2D интерпретации. На верхней части рисунка приведены графики АМП на шести параллельных профилях, смещенных на 10, 20 и 40 км к северу (N10, N20, N40) и к югу (S10, S20, S40) от профиля моделирования. Как видно из верхней части рис. 2, кривые АМП на параллельных профилях образуют обширную аномалию с двумя локальными максимумами, западным и восточным. Западный максимум (75 км по профилю моделирования) очерчивается кривыми N10, N20, N40, профилем моделирования и кривой S10, тогда как кривые S20 и S40 в диапазоне 60–110 км представляют линейные тренды, возмущенные короткопериодическими пульсациями. Локальный максимум на востоке (130 км по профилю моделирования) демонстрируют кривые на профилях S10, S20, и на профиле моделирования, тогда как кривая АМП вдоль N10 – это наклонная линия, а кривые АМП на N20, N40 идут в противофазе к S10 и S20. То есть, исследуемый профиль моделирования в данном диапазоне – объект для 2D интерпретации не идеальный, но до-

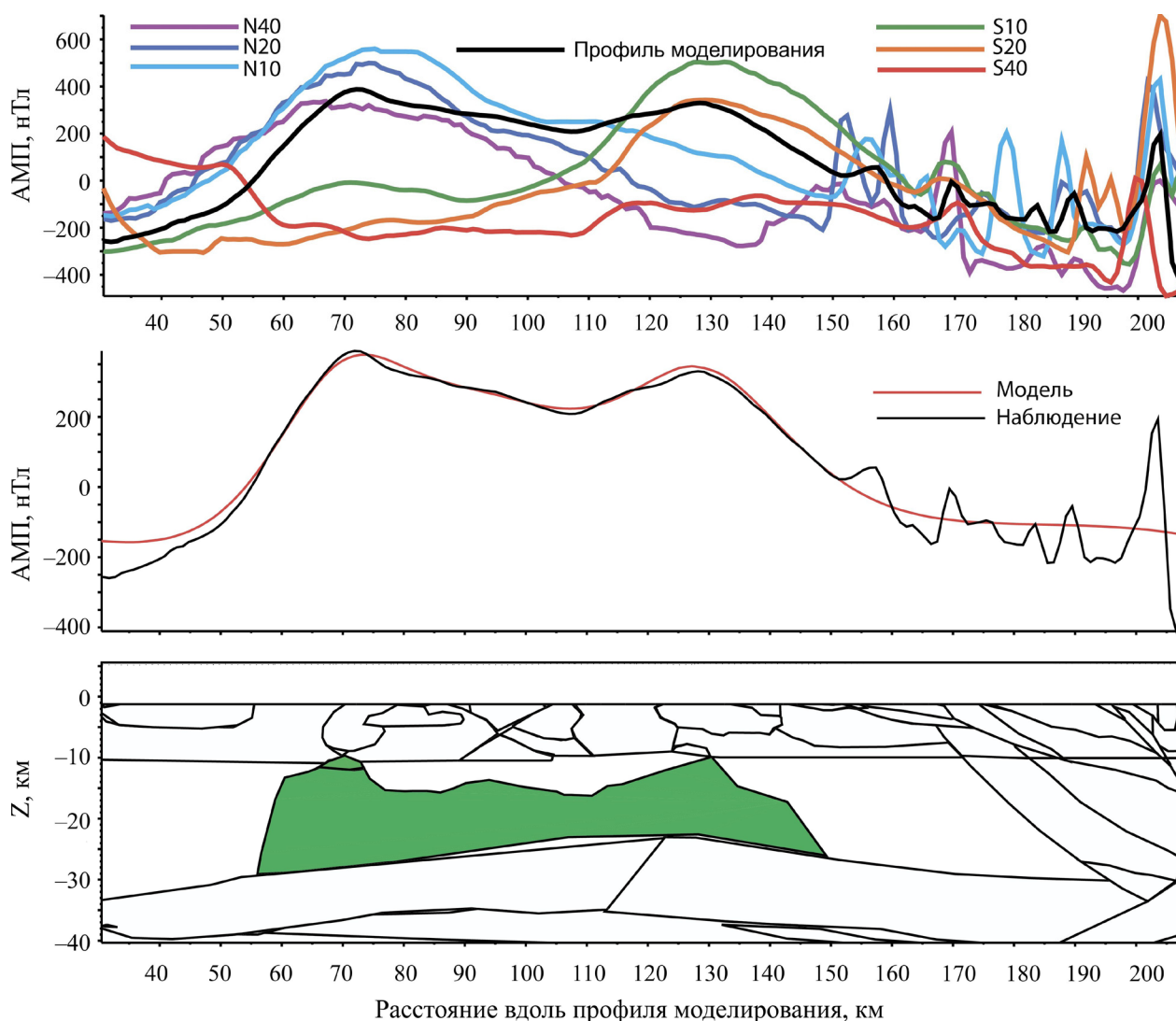


Рис. 2. Вверху – графики АМП на 6 параллельных профилях, смещенных на 10, 20, и 40 км к северу (N) и югу (S); средняя часть – модельное (красная линия) и наблюдаемое (черная линия) АМП; внизу – глубинная магнитная структура в западной части профиля моделирования. Географическая привязка дана на рис.1.

Fig. 2. At the top – anomalous total intensity on parallel profiles situated 10, 20 and 40 km to the South (S) and to the North (N) from the modeling profile (black line); middle part – anomalous total intensity magnetic field model (red line) and observed (black line); bottom – deep magnetic structure in the west part of the profile. Geographical connection is given on Fig.1

пустимый, о чем свидетельствует легкость подбора источника (см. рис. 2, средняя и нижняя части).

Эта обширная аномалия находится на участке примерно от 30 до 170 км по профилю моделирования и моделируется лежащим на глубинах от 15 до 35 км телом неправильной формы с магнитной восприимчивостью 0.11 СИ. Следует отметить, что на профиле, расположенном значительно южнее, а именно, в западной части профиля Урсейс-95, аналогичное магнитное тело (с намагниченностью от 2.5 до 3.0 А/м), расположенное примерно на тех же глубинах, смоделировала Н.В. Федорова [53]. Это тело интерпретировалось как состоящее преимуществен-

но из магнетита. Следует также отметить, что модель Н.В. Федоровой – это однородно намагниченный эллиптический цилиндр, а в данном исследовании – неоднородно намагниченная многоугольная призма. Намагниченность тела нашей модели (с магнитной восприимчивостью 0.11 СИ) варьируется около 4 А/м. Возможно, это одна и та же протяженная глубинная структура, которая, однако, поделена на ряд фрагментов, о чем свидетельствует, в частности, отсутствие полного подобия кривых АМП на параллельных профилях. Что же касается вещественного состава этого глубинного высокомагнитного тела, то, по всей видимости, здесь возможны два варианта ин-

терпретации. Первый вариант – это блок докембрийских метаморфических пород, содержащий железистые кварциты. Второй вариант – это блок земной коры океанического типа или же, скорее, мантийный диапир (плюм), представленный главным образом серпентинитами; их магнитные параметры [61, 36] делают такое предположение также возможным. Более вероятным мы пока считаем первый вариант, поскольку наличие железистых кварцитов в метаморфических толщах фундамента Русской платформы, подстилающих складчатый Урал, фактически доказано широко известными железистыми кварцитами тараташского комплекса (месторождение Радостное и др.). В тоже время, наличие мощного плюма, по всей видимости, отчетливо проявилось бы в характере вулканизма (магматизма) данной территории. Хотя этот (второй) довод отнюдь не бесспорен. Поскольку имеющиеся [10] в этом районе в сравнительно небольшом количестве магматические комплексы как раз имеют отчетливый щелочной характер и рифтогенную природу [20]. Все они, как правило, традиционно считались позднедокембрийскими, но в последнее время появляются и данные (U-Pb метод по цирконам) о среднепалеозойском возрасте [9] части

из них. Продолжительный щелочной и субщелочной магматизм может быть свидетельством присутствия мантийного диапира, частью которого может являться глубинное магнитное тело, показанное по расчетным данным на рис. 2.

НОВАЯ РАСЧЕТНАЯ ГРАВИ-МАГНИТНАЯ МОДЕЛЬ

Новая расчетная грави-магнитная модель, учитывающая априорные сейсмические данные Средне-Уральского трансекта приведена на рис. 3 и 5. На рис. 4 и 6 приведены кривые аномальных полей на параллельных профилях, упомянутых выше, а также аномальные поля вдоль профиля моделирования. На рис. 3 и 5 штриховкой показан фундамент Русской платформы, цветом и числами представлена плотность, за ней числами показана магнитная восприимчивость в ед. СИ для модельных тел. Магнитная восприимчивость равная нулю числами не показана. От 20 до 70 км вдоль профиля моделирования имеет место некое подобие кривых аномального гравитационного поля вдоль параллельных профилей. Далее на отрезке от 70 до 115 км резко

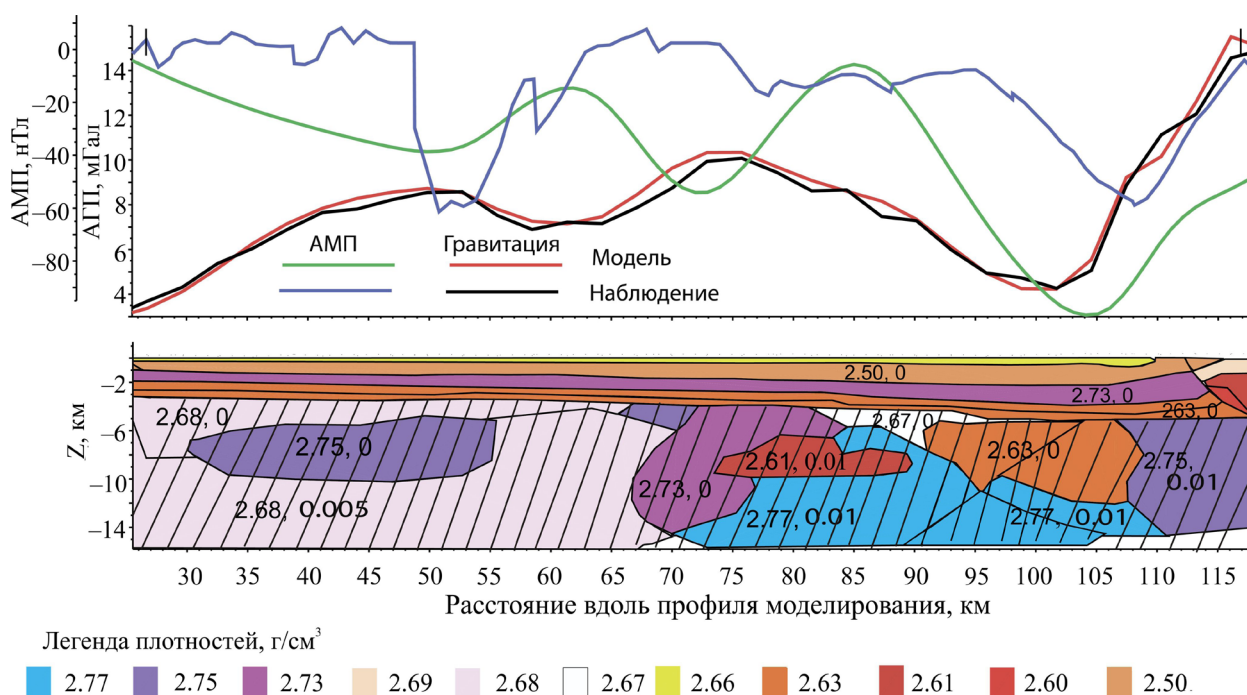


Рис. 3. Плотностная и магнитная модель от 20 до 115 км вдоль профиля моделирования.

Вверху показаны кривые аномальных полей, внизу – разрез модели вдоль профиля. Штриховкой обозначен фундамент Русской платформы. Числа внутри контуров тел – значения плотности в г/см³ и магнитной восприимчивости в ед. СИ. Легенда плотности приведена внизу. Вертикальный и горизонтальный масштабы разреза совпадают.

Fig. 3. Density and magnetic susceptibility model from 20 to 115 km along profile.

Curves of anomalous fields (model – red, observation – black) are shown in the upper part. Model section is shown on the bottom part of the figure. Hatching shows the basement of Russian platform. Number inside body contour on the bottom part are density in g/cm³ and magnetic susceptibility of a body in SI units. Zero susceptibility is not shown. Below there is the density. The vertical and horizontal scales of the model section are coincide.

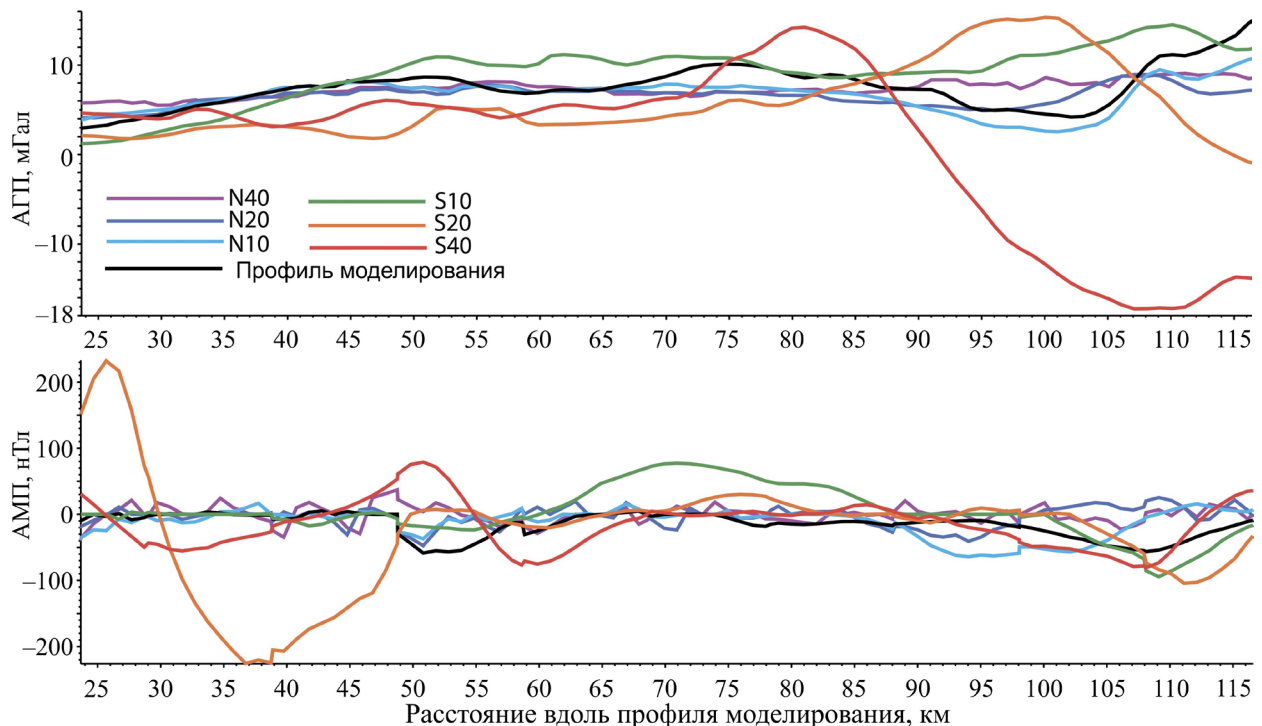


Рис. 4. Аномальные поля на параллельных профилю моделирования профилях от 20 до 115 км вдоль профиля к северу (N10, N20, N40) и югу (S10, S20, S40) от профиля моделирования.

Вверху – аномальное гравитационное поле, внизу – АМП. Черная линия – поля вдоль профиля моделирования.

Fig. 4. Anomalous fields on parallel profiles from 20 to 115 km along the profile to the North (N10, N20, N40) and South (S10, S20, S40) from modeling profile.

Anomalous gravity is at the upper part of the figure, total intensity magnetic field is at the bottom part one. Black line – fields along the modeling profile.

различаются кривые на S20 и S40 (см. рис. 4, верхняя часть). Кривые АМП на параллельных профилях в диапазоне от 20 до 85 км практически совпадают с нулевой линией за исключением профилей S20, S40 и S10 в диапазоне от 53 до 88 км (см. рис. 5, нижняя часть). Далее с 88 км до 115 км кривые аномальных полей имеют существенно возмущенный характер (см. рис. 5). Что касается подобия кривых АМП, то оно отсутствует на всем представленном на рис. 5 диапазоне, хотя в районе от 105 до 115 км можно усмотреть в нижней части рис. 5 подобие кривых на профилях S10, S20, S40 и профиля моделирования. Соответственно, подбор магнитной восприимчивости тел дал неудовлетворительные результаты (см. рис. 4, модельная кривая АМП).

Рассмотрим продолжение профиля моделирования (110–200 км) на рис. 5 и аномальные поля на параллельных профилях в этом диапазоне (рис. 6). Подобие кривых аномального гравитационного поля (рис. 6, верхняя часть) в диапазоне 100–200 км просматривается за исключением S20, S40 в диапазоне 110–135 км и N20, N40 в диапазоне 130–170 км. Начиная со 170 км, эти кривые практически сливаются в одну. Именно здесь начинаются про-

тяженные складчатые структуры Урала. Кривые АМП (см. рис. 6, нижняя часть) со 110 по 145 км подобны в том, что слегка изменяются около нуля за исключением кривой N40, демонстрирующей слабую (не более 120 нТл вариацию). Со 145 км до 195 км подобие нарушается. Видны сильные вариации на S10 в диапазоне 148–163 км и пик N40 в диапазоне 165–172 км, слегка сдвинутый по фазе от максимумов кривых АМП на других параллельных профилях. Кривая N10 с 150 до 190 км демонстрирует совершенно особое поведение. Все это свидетельствует о существенно 3-мерном строении магнитоактивных тел в этом диапазоне. Соответственно оценки магнитной восприимчивости следует понимать, как очень приблизительные, что и видно из подбора (см. рис. 5, верхняя часть).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В верхней части рисунков 3 и 5 приведены наблюдаемые и модельные кривые аномальных полей, а в нижней – разрез вдоль профиля моделирования. Штриховкой обозначен фундамент Русской платформы, который при продвижении на восток

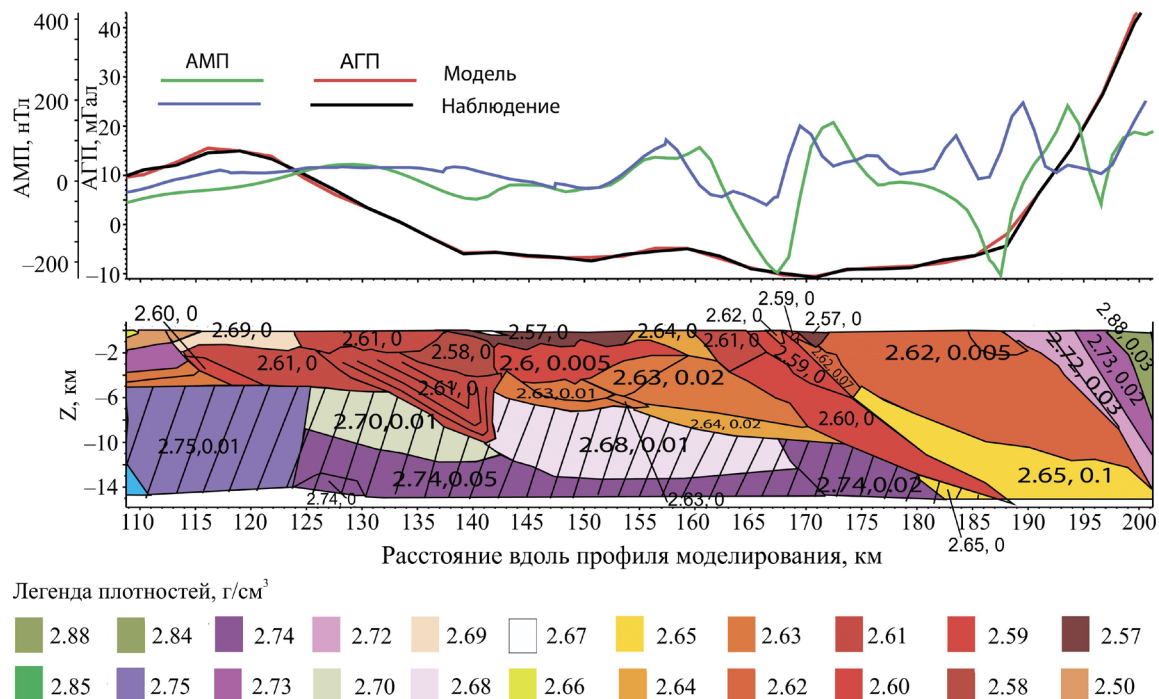


Рис. 5. Плотностная и магнитная модель от 110 до 200 км вдоль профиля моделирования.

См. пояснения к рис. 3.

Fig. 5. Density and magnetic susceptibility model from 110 to 200 km along profile.

See comments to Fig. 3.

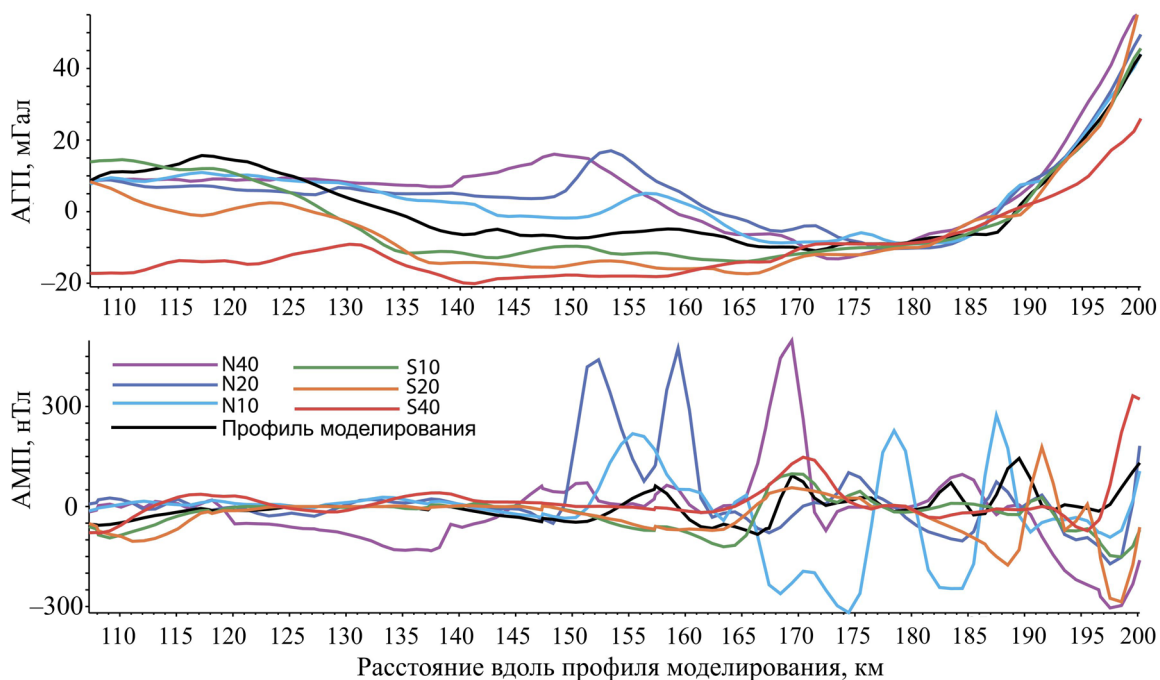


Рис. 6. Аномальные поля на параллельных профилю моделирования профилях от 20 до 115 км вдоль профиля.

См. комментарии к рис. 4.

Fig. 6. Anomalous fields on parallel profiles from 110 to 200 km along the profile.

See comments to Fig. 4.

все более и более погружается под структуры Урала (см. рис. 5).

В западной части профиля моделирования (см. рис. 3) верхняя немагнитная слоистая часть разреза больших трудностей в интерпретации не вызывает (до глубины 3.15 на западе и до 4.8 км на 112 км профиля моделирования; где отмечается взброс крутого восточного падения) и состоит из ряда слоев (4 на модели), различной плотности. Самый верхний слой, мощностью от 200 до 700 м, средней плотностью (2.66 г/см^3) очевидно коррелируется с раннепермскими (кунгурскими) терригенными отложениями. Сразу ниже в модели выделяется легкая пачка мощностью порядка 700 м на западе и 1.7 км на востоке, плотностью (2.50 г/см^3), где преобладают обломочные породы с высоким содержанием кварца. Третий сверху плотностной слой модели сложен преимущественно более плотными породами (2.73 г/см^3), среди которых очевидно преобладают известняки среднего палеозоя. Мощность этого слоя изменяется от 770 м на западе до 1550 м на востоке. Самый нижний слой этого осадочного разреза, вероятно, имеет ордовикский возраст (не исключено и что это уже вендские терригенные толщи), имеет плотность (2.63 г/см^3), его мощность возрастает от 1.1 км на западе до 1.3 км на востоке.

Вся нижняя часть (до глубины 15 км) модели западной половины профиля ESRU (Средне-Уральского трансекта) отображает структуры фундамента Русской (Восточно-Европейской) платформы. Под осадочным чехлом в метаморфических толщах (гнейсы, кристаллические сланцы и др.) фундамента Русской платформы плотностью 2.68 г/см^3 и магнитной восприимчивостью 0.005 СИ (0.000, 0.005) от 25 до 73 км по профилю моделирования находятся, по всей видимости, интрузии диоритов (2.75 , 0.00). Одна от 30 до 55 км вдоль профиля моделирования мощностью около 4 км на глубинах примерно от 6.0 до 10.2 км и вторая, восточнее, непосредственно примыкающая к осадочному слою сравнительно небольшая интрузия от 65 до 72 км вдоль профиля моделирования. Восточнее, от 67 км кристаллические сланцы (2.73 , 0.00) образуют тело субизометричной формы, в которое с востока внедряется тело гранитов (2.61 , 0.01), контактирующее восточнее с гнейсами и амфиболитами (2.77 , 0.01). В диапазоне от 90 до 108 км на глубинах от 6 до 12 км лежат гранит-гранодиоритовые тела (2.63 , 0.00), подстилаемые гнейсами и амфиболитами, упомянутыми ранее.

Продолжение профиля моделирования на восток представлено на рис. 5. Восточнее крупное (107–125 км по профилю моделирования и около 10 км по вертикали) тело в фундаменте Русской (Восточно-Европейской) платформы сложено преимущественно породами с плотностью (2.75 г/см^3) и высокой магнитностью (0.01 ед. СИ). Теоретически это могли бы быть как метаморфические породы фундамента Русской платформы (напри-

мер, гнейсо-амфиболитовая толща), так и интрузивный массив, вероятно диоритового или габбро-диоритового состава. Есть возможность проверить эти предположения двумя способами: 1) наличие существенного количества отражающих площадок свидетельствовало бы о слоистой, в данном случае метаморфической толще. По сейсмическим данным [41], таких площадок здесь почти нет (в наличии две). Что скорее указывает на крупную интрузию; 2) интрузивное тело должно иметь ограниченный размер по простиранию, в то время как метаморфические толщи в первом приближении бесконечны. Анализ кривых гравитационного поля на параллельных профилях, расположенных к югу и северу от основного разреза (см. рис. 4, 6) показывает, что на данном участке профиля моделирования (107–125 км) интерпретируемая кривая не удовлетворяет условиям двумерной задачи. Таким образом, обе проверки указывают, что обсуждаемое тело является, по всей видимости, интрузией габбро-диоритового состава.

Следующая к востоку часть профиля (113–137 км) проходит по Западно-Уральской зоне складчатости (Бельско-Елецкая палеошельфовая мегазона Урала), где на поверхности закартирована серия крупных сжатых антиклинальных и синклинальных складок, сложенных каменноугольными, девонскими и вендскими, преимущественно терригенно-карбонатными мелководными толщами [12]. По сейсмическим и другим данным здесь устанавливается серия надвигов с восточным падением [41], выполаживающихся на глубине около 5 км (*detachment-fault*). По интерпретации Г.А. Петрова и А.В. Рыбалки, ниже располагается гранитный массив, размером в поперечнике 20 км. В нашей модели такого массива нет. Вместо него в нашей модели, с 126 до 142 км профиля (на глубинах от 2 км на западе, до 10 км на востоке) реконструируется блок терригенных пород (2.61 г/см^3 , немагнитный), по всей видимости, представляющий сжатую асимметричную синформу (см. рис. 5, нижняя часть, синформа схематично выделена кривыми линиями). Возможно, это один из грабенов Русской платформы.

Следующая, пересеченная профилем моделирования общеуральская мегазона (137–185 км) – Центрально-Уральская (в работах предшественников известная также как зона Уралтау). По общепринятым представлениям, она сложена главным образом метаморфизованными докембрийскими толщами, слагающими осевую, наиболее гипсометрически приподнятую часть Уральских гор. Центрально-Уральская мегазона имеет очень сложное строение, интерпретируемое разными исследователями весьма по-разному. Здесь выделяются блоки глубокометаморфизованных кристаллических пород архея и протерозоя, являющиеся, вероятно, выступами Русской платформы (Харбейский, Ляпинский антикли-

норий Полярного Урала, Тараташский, Уфалейский выступы Среднего Урала и др.). Еще шире распространены здесь преимущественно терригенные толщи верхнего докембрия(?), метаморфизованные в зеленосланцевой фации (суванянский комплекс Южного Урала и др.). Присутствуют здесь и палеозойские метаморфические комплексы (например, максютовский эклогит-глаукофансланцевый субдукционный комплекс). В пределах Центрально-Уральской мегазоны наблюдается сочетание разновременных линейно-складчатых, а также куполовидных структур, весьма развиты зоны интенсивного пластического течения. Интерпретация геодинамической природы комплексов Центрально-Уральской мегазоны, в том числе и на Среднем Урале характеризуется большим разнообразием. По нашим представлениям [16] здесь, как и на Южном Урале (суванянский комплекс), преобладают палеозойские формации континентального подножья (преимущественно терригенные толщи), метаморфизованные в зеленосланцевой фации. Отметим, что это не соответствует наиболее распространенной точке зрения. Считается, что на западном склоне Среднего Урала рифейские осадочные ассоциации распространены в двух зонах – западной и восточной [1]. В последней известны наиболее древние (из вскрытых эрозией) уровни верхнего рифея – синегорская и клыктанская свиты кедровской серии [49]. Общий облик известных на Среднем Урале верхнедокембрийских отложений сопоставим в главных чертах с эталоном каратавия, а в случае с кедровской серией, подобен ему и вертикальной “организацией” осадочных комплексов [30]. Однако здесь, на западном склоне Среднего Урала (как и ранее – на Южном Урале; см. [13 и др.]), в этих толщах, считающихся докембрийскими, уже сделаны первые находки палеозойской фауны. Так, Н.Я. Анцыгиным [3] в кварцито-песчаниках синегорской свиты в двух пунктах были найдены отпечатки стеблей криноидей – близ устья р.Тылай достаточной хорошей сохранности *Hexacrinites (?) biconvexus* Yelt. et J. Dubat эмско-эйфельского возраста, и в стратотипе свиты, в скальных выходах на перевале хребта горы Синей, – *Hexacrinites (?)* sp. плохой сохранности, возможно девонского возраста (определения В.С. Милициной). На основании этих данных Н.Я. Анцыгин сопоставляет синегорскую свиту с песчаниками такатинской толщи эмского яруса нижнего девона. Это подтверждает наши представления [16], отмеченные ранее.

Нижняя глубинная часть нашей модели (125–187 км) по всей видимости, представляет собой метаморфический фундамент Русской платформы, постепенно утоняющийся к востоку (что впервые было отмечено И.С. Огаринным [31]) –, где (см. рис. 5) фундамент отмечен штриховкой. В нем удается выделить ряд крупных блоков, различающихся по гравимагнитным свойствам.

Аналоги этих блоков выходят на поверхность южнее, в наиболее сжатом месте Урала, западнее города Миасса. Это, например, тараташский комплекс гранулитовой фации, представленный амфибол-пироксен-плагиоклазовыми и магнетит-гиперстеновыми кристаллосланцами, очковыми гнейсами и плагиогнейсами различного состава, иногда графитсодержащими, амфиболитами, магнетитовыми или биотитовыми железистыми кварцитами, основными и кислыми гранулитами, гиперстенсодержащими мигматитами. Эти породы претерпели диафторез амфиболитовой, эпидот-амфиболитовой и зеленосланцевой фаций метаморфизма [29]. А также александровский комплекс, сложенный гранатовыми амфиболитами, двуслюдяными плагиогнейсами, гранитогнейсами, кристаллосланцами различного состава, графитистыми кварцитами и (реже) плагиоклаз-оливин-клинопироксеновыми породами (израндиты) [38, 39].

Наиболее западный из крупных блоков фундамента этого интервала в диапазонах глубин от 5 до 10 км, имеет гравимагнитные характеристики (2.70, 0.01) (см. рис. 5). Он, вероятно, сложен кристаллическими сланцами, возможно с небольшими телами железистых кварцитов. Расположенный восточнее него (141–168 км профиля) примерно на тех же глубинах блок сложен чуть менее плотными метаморфическими породами, очевидно, также кристаллическими сланцами разного состава. Оба этих блока подстилает весьма крупное тело, протяженностью около 50 км, обладающее повышенными плотностью (2.74 г/см³) и магнитной восприимчивостью (0.05 СИ). Наиболее восточный (180–187 км) и нижний сравнительно небольшой блок (2.65, 0.00), по всей видимости, сложен преимущественно сиалическими гнейсами.

Тело (159.5–164.5 км) и продолжающая его книзу, падающая на восток (до глубины 15 км) пластина имеют плотность 2.60–2.61 г/см³; магнитную восприимчивость 0.01. В этом месте на поверхности профиля, по данным геологического картирования (лист О-40-XVII; два издания: первое – 1967 г. П.М. Есипов и Е.П. Рослякова, под редакцией М.И. Гараня и И.Д. Соболева; и второе – автор В.Н. Зорин, редактор Г.Г. Морозов, 2002 г.), обнажаются ашинская свита кембрия (согласно карте 1966 г.) или же басегская серия верхнего рифея (карта 2002 г.). В данном случае это разночтение роли не играет, поскольку литологический состав этих стратиграфических подразделений естественно не изменился – преобладают кварцевые песчаники и алевролиты (вишневого и темно-серые), что дает наблюдаемый дефицит плотности, с прослоями щелочных базальтов и андезитобазальтов (что обуславливает полученные при моделировании магнитные свойства этого блока).

По всей вероятности, примерно такими же терригенными легкими породами (видимо, позднедо-

кембрийскими) сложен и крупный падающий на восток блок (172.0 – 187.7 км). А.В. Рыбалка с коллегами в западной части этого блока предположили массив габбро, размером около 4 км, не выходящий на земную поверхность. Его существование представляется нам сомнительным. На разрезе по Средне-Уральскому трансекту существование этого тела подтверждается интенсивной узкой локальной аномалией поля силы тяжести в этом месте на трансекте. Однако, оно, по всей видимости, представляет существенно трехмерную локальную структуру и поэтому на кривой АГП по профилю моделирования его нет.

Начиная со 169 км профиля по данным сейсмоки [41] отмечается падающее на восток, и значительно расширяющееся с глубиной тело, прослеживающееся до восточной (204 км) и нижней границ нашей модели (см. рис. 5). По интерпретации А.В. Рыбалки с коллегами [41] описываемый блок сложен архейскими гнейсами фундамента Русской платформы. Мы с этим не можем согласиться, поскольку он весьма существенно отличается по плотностным и магнитным параметрам от других блоков фундамента, отмеченных выше – он существенно более легкий (от 2.62 до 2.65 г/см³) и гораздо более магнитный (0.07–0.10 СИ). Такие характеристики скорее соответствуют серпентинизированным ультрабазитам [36, 61], что и принимается в нашей модели.

В связи с этим важно, что именно в эту часть профиля можно спроецировать (вдоль простирания пород и крупного разлома [12]) известную Сарановскую ультрабазитовую интрузию, расположенную в 29.5 км севернее линии профиля. Сарановская интрузия, как известно, состоит из двух массивов (северного и южного) и залегает среди слабо метаморфизованных пород венда. Несмотря на сравнительно небольшие размеры, этот комплекс содержит значительные запасы хромитов, приуроченных к расслоенным сериям ультрамафитов [19]. Массивы имеют линзовидную форму, субмеридиональное простирание с крутыми углами падения и характеризуются сильной тектонической нарушенностью [6]. Ультрамафиты прорваны многочисленными дайками щелочных и субщелочных диабазов, метадиабазов, метапикритов. В восточной части Сарановского комплекса находится силлоподобная интрузия габбро-анортозитов, которые рассматриваются как самостоятельная интрузивная фаза или элемент макро-расслоенности [6, 19]. Сарановские массивы состоят преимущественно из метадунитов и хромитоносных расслоенных метапериidotитов. Ультрамафиты Сарановского комплекса полностью серпентинизированы и подвержены другим вторичным постмагматическим преобразованиям; тем не менее, установлена повышенная железистость (0.13–0.18) и титанистость метаультрамафитов, закономерные изменения которых интерпретируются как свидетель-

ство скрытой расслоенности [19]. Недавно в ультрамафитах как южного, так и северного массивов в двух точках были обнаружены и датированы суперакцессорные цирконы [27]. По данным этих исследователей возраст дунитов южного массива составляет 1756 ± 12 млн лет, в то время как цирконы дунитов северного массива представлены полихронной популяцией (без докембрийских зерен), с двумя этапами цирконообразования – 464.1 ± 5.1 и, основной, 439 ± 3.1 млн лет. Эти цифры, вероятно, можно интерпретировать как возраст тектонической переработки ультрамафитовых массивов.

Таким образом, получается, что Сарановская интрузия, по всей видимости, представляет собой крайнюю верхнюю (выходящую на поверхность) часть гораздо большего блока, состоящего преимущественно из серпентинизированных ультрамафитов. Поскольку этот блок расположен структурно ниже ГУГРа, выходит на поверхность примерно в 30 км западнее его и, по-видимому, имеет раннерифейский возраст ([27]), то можно обоснованно предполагать, что здесь в нашей расчетной модели обнаружились реликты Пра-Уральского рифейского бассейна с корой субокеанического типа. Существование такой рифейской структуры (видимо раскрывшегося рифта Красноморского типа) активно обсуждается последние 30–40 лет [20, 22, 23, 28, 37, 45, 46, 63], а сейчас она впервые визуализирована, т.е. приобрела форму и размер, причем надежные настолько, насколько позволяет сегодняшний уровень развития науки и технологий. Протяженность вкрест простирания этого существенно ультрамафического блока составляет на глубине (см. рис. 5) не менее 25–30 км, а мощность от 1.5 до 5.0 км. Можно предполагать последовательную аккрецию к Русской платформе этих двух главных структур субокеанической коры на Среднем Урале – сначала раннерифейской Сарановской структуры (произошла эта аккреция 464–439 млн лет назад, т.е. в позднем ордовике–раннем лландовери), а уже затем – ордовикско-силурийской Тагильской островной дуги [5, 17, 18, 47]. Причем есть достаточно многочисленные [15, 33], хотя и недостаточно четкие данные, что в основании Тагильской дуги присутствуют офиолиты и более древнего возраста.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Построена новая двумерная модель геологической среды вдоль профиля, аппроксимирующего Средне-Уральский трансект целиком (см. рис. 1). Впервые за счет анализа поведения аномальных полей на параллельных профилях при 2D-моделировании плотностных и магнитных свойств данного региона оценивалась применимость самого метода моделирования, что позволило сделать также определенные выводы о геологическом строении района исследования до глубины

15 км. Мы отказались от изменения структур фундамента с целью абсолютного подгона модельного АМП, что говорит не о плохом подборе, а о принципиальной невозможности такого подбора и о необходимости трехмерного моделирования.

Смоделировано глубинное магнитное тело, лежащее за пределами гравияктивного слоя (см. рис. 2), которое, вероятно, прерываясь местами, является продолжением тела, выявленного в западной части профиля URSEIS, лежащего южнее исследуемого. Предложены и обсуждены два варианта интерпретации этого глубинного магнитного тела: 1. Это блок докембрийских метаморфических пород, содержащий железистые кварциты; 2. Блок земной коры океанического типа или же, скорее, мантийный диапир (плюм). Несколько более вероятным представляется первый вариант.

Влияние этого тела, также как и иных источников, лежащих на глубинах более 15 км было исключено из всех исследуемых кривых АМП.

Из анализа применимости метода 2D интерпретации аномальных полей вдоль профиля моделирования выявлено, что на данном участке отсутствуют магнитные структуры в земной коре на глубинах от 0 до 15 км, которые имели бы достаточно большое простираание к северу и югу от профиля. Для того, чтобы моделирование дало удовлетворительные результаты оценки магнитной восприимчивости пород, необходима 3D интерпретация. Аномалии же гравитационного поля на параллельных профилях демонстрируют слабое подобие к северу от профиля моделирования в диапазоне отметок от 20 до 85 км вдоль профиля. В диапазоне 128–170 км вдоль профиля моделирования аномалии гравитационного поля на северных и южных профилях, включая интерпретируемый профиль, изменяются в противофазе. Несмотря на прорисовку контуров тел, основанную на данных сейсмоки, отсюда следует, что в этом районе отмеченные структуры фундамента имеют ограниченное простираание, то есть образуют локальные тела. Аномалии гравитационного поля начинают коррелировать друг с другом только с отметки 170 км вдоль профиля, где начинаются линейные структуры Урала. Таким образом, уверенно о плотностных свойствах, полученных в результате подбора можно говорить только с отметки 170 км, начиная с которой исходные аномальные гравитационные поля удовлетворяют двумерной задаче. Однако магнитные свойства этих тел распределены локально и неравномерно по простираанию, о чем свидетельствуют кривые АМП на нижней части рис. 6 и весьма приблизительный результат подбора (см. рис. 5).

В западной части профиля моделирования верхняя (до 3.15 км на западе и до 4.8 км на 112 км профиля) немагнитная слоистая часть разреза представлена сверху раннепермскими терригенными отложениями. Сразу ниже в модели выделяется легкая пачка мощностью порядка 700 м на западе и 1.7 км

на востоке, где преобладают обломочные породы с высоким содержанием кварца. Третий сверху плотностной слой модели сложен преимущественно более плотными известняками среднего палеозоя. Мощность этого слоя изменяется от 770 м на западе до 1550 м на востоке. Самый нижний слой осадочного разреза образован терригенными толщами, его мощность возрастает от 1.1 до 1.3 км.

Нижняя часть (до глубины 15 км) модели запада профиля моделирования, аппроксимирующего Средне-Уральский трансект, отображает структуры фундамента Русской платформы, который при продвижении на восток все более и более погружается под структуры Урала.

В 107–125 км по профилю моделирования в фундаменте Русской платформы выявляется интрузия габбро-диоритового состава. Вместо гранитного массива, размером в поперечнике 20 км, предполагавшегося первоисследователями Средне-Уральского трансекта, в нашей модели, с 126 до 142 км профиля (на глубинах от 2 км на западе, до 10 км на востоке) реконструируется блок терригенных пород, возможно, заполняющих один из грабенов Русской платформы. Однако, трансект и профиль моделирования существенно отстоят друг от друга на этом участке, а гранитный массив, возможно, не достигает профиля моделирования и изометричен. Выявленные несогласия двух интерпретаций еще раз, в дополнение к нашему анализу аномальных полей на параллельных профилях, подтверждают вывод о том, что 2D-метод дает, мягко говоря, очень грубое приближение в западной части СУТ.

Проведено сопоставление блоков фундамента с известными древними метаморфическими комплексами западного склона Урала (тараташским и др.).

Начиная со 169 км профиля по данным сейсмоки [41] отмечается падающее на восток, и значительно расширяющееся с глубиной тело, прослеживающееся до восточной (204 км) и нижней границ нашей модели (см. рис. 5). По интерпретации А.В. Рыбалки с коллегами [41], этот блок сложен архейскими гнейсами фундамента Русской платформы. Мы с этим не согласны, поскольку он существенно более легкий и гораздо более магнитный (0.07–0.10 СИ). Такие характеристики скорее соответствуют серпентинизированным ультрабазитам, что и принимается в нашей модели. Именно в эту часть профиля проецируется Сарановская ультрабазитовая интрузия. Возраст ультрабазитов по цирконам [27] составляет 1756 ± 12 млн лет. Два наложенных этапа цирконообразования 464 ± 5 и 439 ± 3 млн лет, вероятно, можно интерпретировать как возраст тектонической переработки ультрамафитов.

Таким образом, Сарановская интрузия, по всей видимости, представляет собой крайнюю верхнюю часть гораздо большего блока, состоящего преимущественно из серпентинизированных ультрамафитов. Этот блок расположен в 30 км западнее и

структурно ниже ГУГРа и можно предполагать, что здесь в расчетной модели обнаружили реликты рифейского рифта Красноморского типа.

Авторы благодарны рецензенту за полезные и конструктивные замечания.

Исследования проводятся при поддержке Российского научного фонда (проект №16-17-10201).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аблизин Б.Д., Ключина М.Л., Курбацкая Ф.А., Курбацкий А.М. (1982) Верхний рифей и венд западного склона Среднего Урала. М.: Наука, 140 с.
2. Ананьева Е.М., Винничук Н.Н., Иванов К.С., Кормильцев В.В., Федоров Ю.Н. (2008) О плотности пород востока Урала и фундамента Западно-Сибирской платформы. Екатеринбург: Изд. УрО РАН, 114 с.
3. Анцыгин Н. Я. (1999) О возрасте синегорской свиты на Среднем Урале. *Проблемы стратиграфии и палеонтологии Урала*. Екатеринбург: ОАО, 20-23.
4. Берлянд Н.Г. (2007) Глубинное строение и эволюция литосферы Урала. СПб.: ВСЕГЕИ, 256 с.
5. Бороздина Г.Н., Иванов К.С., Богоявленская В.М. (2010) Стратиграфия вулканогенных и вулканогенно-осадочных отложений Салатимской и Тагильской зон Урала. Екатеринбург: УрО РАН, 152 с.
6. Волченко Ю.А., Брянский Я.Ш., Вилесов Н.Г. (1979) Новые данные по геологии и рудоносности Сарановского комплекса. *Генезис оруденения в базитах и гипербазитах*. Свердловск: УНЦ АН СССР, 70-81.
7. Геотраверс "ГРАНИТ": Восточно-Европейская платформа-Урал-Западная Сибирь (строение земной коры по результатам комплексных геолого-геофизических исследований). (2002) (Под ред. С.Н. Кашубина). Екатеринбург: МПР России по Свердловской обл., "Баженская геофизическая экспедиция", 312 с.
8. Глубинное строение и геодинамика Южного Урала (проект УРАЛСЕЙС) (2001) (Гл. ред. А.Ф. Морозов). Тверь: Изд. ГЕРС, 286 с.
9. Голобурдина М.Н., Лукьянова Л.И., Лепехина Е.Н. (2014) Щелочно-ультраосновные породы района горы Благодать (западный склон Среднего Урала). *Региональная геология и металлогения*, **59**, 28-41.
10. Зильберман А.М., Чернышова Е.М., Кичигин Ю.Н. (1980) Новые проявления щелочно-ультраосновного вулканизма на западном склоне Среднего Урала. *Доордовикская история Урала. Вып. 3: Вулканизм*. Свердловск: ИГиГ УНЦ АН СССР, 30-46.
11. Золотов К.К., Рапопорт М.С., Попов Б.А., Плюснин К.П., Каретин Ю.С., Шуб В.С., Ананьева Е.М., Контарь Е.С. (1981) Геологическое развитие и металлогения Урала. М.: Недра, 256 с.
12. Зорин В.Н. (2002) Геологическая карта Российской Федерации. Пермская серия. О-40-ХVII (Горнозаводск). (Под ред. Г.Г. Морозова). Пермь, ПГГСП "Геокарта".
13. Иванов К.С. (1998) Основные черты геологической истории (1.6-0.2 млрд лет) и строения Урала. Екатеринбург: УрО РАН, 252 с.
14. Иванов К.С. (1998) Современная структура Урала – результат послепалеозойского растяжения земной коры. *Геология и геофизика*, **39**(2), 204-210.
15. Иванов К.С., Берзин С.В., Ерохин Ю.В. (2012) Первые данные об U-Pb возрасте цирконов из реликтовых зон спрединга на Среднем Урале Докл. АН, **443**(1), 78-83.
16. Иванов К.С., Быковская Е.А. (1999) Тектоника и формации района Нижнетагильского массива (лист 0-40-XXIV). *Уральская летняя минералогическая школа-99*. Екатеринбург: УГГГА, 122-127.
17. Иванов К.С., Ерохин Ю.В., Смирнов В.Н., Слободчиков Е.А. (2002) Рифтогенез на Среднем Урале (комплекс и структуры растяжения в истории развития Среднего Урала). Екатеринбург: УрО РАН, 91 с.
18. Иванов К.С., Смирнов В.Н., Ерохин Ю.В. (2000) Тектоника и магматизм коллизионной стадии (на примере Среднего Урала). Екатеринбург: УрО РАН, 133 с.
19. Иванов О.К. (1990) Расслоенные хромитоносные ультрамафиты Урала. М.: Наука, 243 с.
20. Иванов С.Н., Пучков В.Н., Иванов К.С., Самаркин Г.И., Семенов И.В., Пумпянский А.М., Дымкин А.М., Полтавец Ю.А., Русин А.И., Краснобаев А.А. (1986) Формирование земной коры Урала. М.: Наука, 248 с.
21. Кашубин С.Н., Дружинин В.С., Рыбалка А.В. (2007) Глубинные сейсмические исследования Уральско-го складчатого пояса. *Модели земной коры и верхней мантии по результатам глубинного сейсмопрофилирования*. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 68-72.
22. Коротеев В.А., Огородников В.Н., Сазонов В.Н., Поленов Ю.А. (2006) Рифейские рифтогенные офиолиты и сопряженная минерализация Южного Урала. Докл. АН, **410**(6), 780-783.
23. Коротеев В.А., Язева Р.Г., Иванов К.С., Бочкарев В.В. (2001) Палеозоны субдукции в геологической истории Урала. *Отечеств. геология*, (6), 50-58.
24. Костров Н.П. (1999). Алгоритмы расчета аномального поля 2D и 3D сильно намагниченных тел и их реализация в среде Unix. Дис. ... канд. геол.-мин. наук, Екатеринбург, ИГ УрО РАН, 79 с.
25. Костров Н.П., Кормильцев В.В., Федоров Ю.Н. (2005) Система 3D интерпретации результатов гравимагнитных наблюдений с целью геологического картирования доюрского комплекса Западной Сибири. *Горные ведомости*, (1), 57-61.
26. Костюченко С.Л., Егоркин А.В., Солодилов Л.Н. (1998) Особенности литосферы Урала по результатам многоволнового глубинного сейсмического зондирования. *Геотектоника*, (4), 3-18.
27. Краснобаев А.А., Русин А.И., Бушарина С.В., Антонов А.В. (2013) Цирконология дунитов Сарановского хромитоносного ультрамафитового комплекса (Средний Урал) Докл. АН, **451**(1), 81-86.
28. Кузнецов Н.Б., Соболева А.А., Удоратина О.В., Герцева М.В., Андреичев В.Л., Дорохов Н.С. (2006) Доуральская тектоническая эволюция северо-восточного и восточного обрамления Восточно-Европейской платформы. *Литосфера*, (4), 3-22.
29. Ленных В.И., Панков Ю.Д., Петров В.И. (1978) Петрология и метаморфизм мигматитового комплекса. *Петрология и железорудные месторождения тартанского комплекса*. Свердловск: УНЦ АН, с. 3-45.
30. Маслов А.В., Гражданкин Д.В. (2011) Рифей и венд Южного и Среднего Урала: современное состояние литолого-стратиграфических исследований. Мате-

- риалы 6-го Всероссийского литологического совещания, Т. II. Казанский госуниверситет, с. 20-23.
31. Огарин И.С. (1974) Глубинное строение Урала. М.: Наука, 86 с.
 32. Петров Г.А. (2006) Геология и минералогия зоны Главного Уральского разлома на Среднем Урале. Екатеринбург: УГГУ, 195 с.
 33. Петров Г. А. (2016) Геология допалеозойских комплексов средней части Уральского подвижного пояса. Дис.... докт. геол.-мин. наук С.-Петербург, Санкт-Петербургский государственный университет. 329 с.
 34. Петров Г.А., Рыбалка А.В. (2011) Глубинное строение Урала по геофизическим трансектам. *Современное состояние наук о Земле*. Материалы Международной конференции памяти В.Е.Хаина М.: МГУ, 1430-1435
 35. Петров Г.А. и др. (2000) Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200 000. Лист О-40-XVIII. Екатеринбург.
 36. Попов К. В. (1997) Анализ магнитных характеристик серпентинитов океанической коры. Автореферат дис.... канд. геол.-мин. наук. Москва: И-т Океанологии им. П.П. Ширшова, 21 с.
 37. Пучков В.Н. (2010) Геология Урала и Приуралья. Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 280 с.
 38. Пыстин А.М. (1978) Александровский гнейсово-амфиболитовый комплекс. *Вулканизм, метаморфизм и железистые кварциты обрамления тараташского комплекса*. Свердловск: УНЦ АН СССР, 3-33.
 39. Пыстин А.М. (1994) Полиметаморфические комплексы западного склона Урала. СПб.: Наука, 208 с.
 40. Рыбалка А.В. (2015) Сейсмогеологическая модель земной коры Среднего Урала (по материалам Средне-Уральского трансекта). Дис.... канд. геол.-мин. Екатеринбург: УГГУ, 137 с.
 41. Рыбалка А.В., Кашубина Т.В., Петров Г.А., Кашубин С.Н. (2007) Средне-Уральский трансект: новые данные по глубинному строению Урала. *Модели земной коры и верхней мантии по результатам глубинного сейсмопрофилирования*. СПб: ВСЕГЕИ, 186-191.
 42. Рыбалка А.В., Петров Г.А., Кашубин С.Н., Юхлин К. (2006) Средне-Уральский трансект ESRU. Структура и динамика литосферы Восточной Европы. Вып. 2: Результаты исследований по программе ЕВРОПРОБА. М.: ГЕОКАРТ, ГЕОС, 390-401.
 43. Рыбалка В.М., Ананьева Е.М., Кашубин С.Н. и др. (1997) Глубинное строение Урала по геофизическим данным. *Геология и минералогия подвижных поясов*. Екатеринбург: Уралгеолком, 101-118.
 44. Рыльков С. А., Рыбалка А. В., Иванов К.С. (2013) Глубинное строение и металлогения Урала: сопоставление глубинной структуры Южного, Среднего и Полярного Урала. *Литосфера*, (1), 3-16.
 45. Самыгин С. Г., Руженцев С. В. (2003) Уральский палеоокеан: модель унаследованного развития. *Доклады АН*, **392**(2). 226-229.
 46. Свяжина И.А., Пучков В.Н., Иванов К.С., Петров Г.А. (2003) Палеомагнетизм ордовика Урала. (ред. В.А. Коротеев). Екатеринбург: УрО РАН, 134 с.
 47. Смирнов В.Н., Бороздина Г.Н., Десятниченко Л.И., Иванов К.С., Медведева Т.Ю., Фадеичева И.Ф. (2006) О времени раскрытия Уральского палеоокеана. *Геология и геофизика*. **47**(6), 755-761.
 48. Соколов В.Б. (1992) Строение земной коры Урала. *Геотектоника*. (5), 3-20.
 49. Стратиграфические схемы Урала (докембрий, палеозой) (1993). Екатеринбург: ИГГ УрО РАН; Уралгеолком, 152 с.
 50. Строение и динамика литосферы Восточной Европы. Результаты исследований по программе EUROPROBE (2006) (Под ред. А.Ф. Морозова). М.: ГЕОКАРТ; ГЕОС, 736 с.
 51. Таврин И.Ф., Халевин Н.И. (1990) Геофизические модели земной коры Урала. *Геотектоника*. (3), 39-49.
 52. Тектоника Урала (объяснительная записка к тектонической карте Урала масштаба 1 : 1 000 000) (1977). (А.В. Пейве, С.Н. Иванов, В.М. Нечехин, А.С. Перфильев, В.Н. Пучков). М.: Наука, 120 с.
 53. Федорова Н.В., Шапиро В.А., Чурсин. А.В. (2006) Геомагнитная модель земной коры по профилю URSEIS. *Строение и геодинамика литосферы Восточной Европы. Результаты исследований по программе EUROPROBE* М.: ГЕОКАРТ; ГЕОС, 736 с.
 54. Федоров Ю.Н., Костров Н.П., Князева И.В., Кормильцев В.В. (2006) Об архимедовом равновесии в земной коре Западной Сибири (Зауралье и левобережье Оби). *Горные ведомости*, (7), 22-31.
 55. Berzin R., Onken O., Knapp J.H., Perez-Estaun A., Hismatulin T., Yunusov N., Lipilin A. (1996) Orogenic evolution of the Urals mountains: results from an integrated seismic experiment. *Science*. **274**, 220-221.
 56. Brown D., Juhlin C., Tryggvason A., Friberg M., Rybalka A., Puchkov V., Petrov G. (2006) Structural architecture of the Southern and Middle Urals foreland from reflection seismic profiles. *Tectonics*, **25**, doi: 10.1029/2005TC001834
 57. Brown D., Juhlin C., Tryggvason A., Steer D., Ayarza P., Beckholmen M., Rybalka A., Bliznetsov M. (2002) The Crustal Architecture of the Southern and Middle Urals From the URSEIS, ESRU, and Alapaevsk Reflection Seismic Surveys. // Mountain Building in the Uralides: Pangea to the Present. *AGU Geophysical Monograph Series*, **132**, 33-48
 58. Diaconescu C.C., Knapp J.H., Brown L.D., Steer D.N., Stiller M. (1998) Precambrian Moho offset and tectonic stability of the East-European platform from the URSEIS deep seismic profile. *Geology*. **26**(3), 211-214.
 59. Echtler H.P., Ivanov K.S., Ronkin Y.L., Karsten L.A. et al. (1997) The tectono-metamorphic evolution of gneiss complexes in the Middle Urals (Russia): a reappraisal. *Tectonophysics*, **276**, 229-251.
 60. Echtler H.P., Stiller M., Steinhoff F., Krawczyk C., Suleimanov A., Spiridonov V., Knapp J.H., Menshikov Y., Alvarez-Marron J., Yunusov N. (1996) Preserved collisional crustal structure of the southern Urals revealed by Vibroseis profiling. *Science*, **274**, 224-225.
 61. Glebovsky V.Yu., Maschenkov S.P., Gorodnitsky A.M., Belyaev I.I., Filin F.M., Mercuriev S.A., Sochevanova N.A., Lukyanov S.V., Valyashko G.M., Popov E.A., Popov K.V. (1995) Anomalous Magnetic Field of the World Ocean, CRC Press, 272 p.
 62. Ivanov K.S., Karsten L.A., Maslov A.V. et al. (1995) EUROPROBE Guidebook. South Urals Seismoprofile Area. Ekaterinburg: Urals Branch of RAS, 115 p.
 63. Ivanov K.S., Puchkov V.N., Fyodorov Yu.N., Erokhin Yu.V., Pogromskaya O.E. (2013) Tectonics of the

- Urals and adjacent part of the West-Siberian platform basement: main features of geology development. *J. Asian Earth Sciences*. Geological Evolution of Asia. **72**, 12-24.
64. Ivanov S.N., Ivanov K.S. (1993) Hydrodynamic Zoning of the Earth's crust and its Significance. *J. Geodynamics*, **17**(4), 155-180.
 65. Kashubin S., Juhlin C., Friberg M., Rybalka A., Petrov G., Kashubin A., Bliznetsov M., Steer D. (2006) Crustal structure of the Middle Urals based on reflection seismic data. European Lithosphere Dynamics. *Geol. Soc. London, Mem.*, **32**, 427-442.
 66. Keating P., Pinet N. (2011) Use of non-linear filtering for the regional-residual separation of potential field data. *J. Applied Geophys.*, **73**, 315-322
 67. Knapp J.H., Steer D.N., Brown L.D., Berzin R., Suleimanov A., Stiller M., Luschen E., Brown D.L., Bulgakov R., Kashubin S., Rybalka A.V. (1996) Lithosphere-scale seismic image of the Southern Urals from explosion-source reflection profiling. *Science*, **274**, 226-227.
 68. Kostrov N.P. (2007). Calculation of magnetic anomalies caused by 2D bodies of arbitrary shape with consideration of demagnetization. *Geophysical Prospecting*, **55**(1), 91-115.

A new geological and geophysical interpretation to potential fields near ESRU

The paper 1. Wesern part of the Urals

K. S. Ivanov, N. P. Kostrov

Institute of Geology and Geochemistry, Urals Branch of RAS

A new 2D-model of geological structure in the vicinity of Europrobe seismic reflection profiling in the Urals (ESRU) was built to the depth of 15 km. For the first time as a result of analysis of anomalous fields behavior on the parallel profiles in 2D-modeling of density and magnetic properties of the region the applicability of the method was estimated. It was modeled deep seating magnetic body situated under the gravity active layer. Probably this body discontinuing here and there is a continuation of the body revealed in the west part of the Urals Reflection Seismic profile (Urseis). Versions of interpretation of the body were discussed: 1. Block of Precambrian metamorphous rocks with ferruginous quartzite; 2. Block of ocean type rock or mantle diapir (plum). The former is more possible. At the West the upper (up to 3.15–4.8 km depth) part of the section is represented by early Permian terrigenous sediments. Below in the model is a formation (thickness from 0.7 km at the West, up to 1.7 km at the East) of light clastic rocks, below of which situated more dens limestones of middle Paleozoic with thickness from 0.7 km to 1.5 km at the East. The deepest layer of sediment section is constructed from mainly terrigenous thickness of 1.1–1.3 km. The bottom part of the model represents structures of Russian platform basement that moving further to the East submerge under the Ural structures. At 107–125 km along profile the basement intrusion of gabbro-diorite has emerged. From 126 to 142 km along profile one can see a block of terrigenous rocks that probably is a graben of Russian platform. A comparison has been made for blocks of the basement and known ancient metamorphous complexes of the west slope of the Urals (Taratash, etc.). From 169 km along profile one can note falling to the East and broadening with depth highly magnetized body, which probably is serpentinized ultramafic rocks. To this part of the profile Sarany ultramafic intrusion is projected. Ultrabasic zircon age is 1756 ± 12 Ma. Two superimposed stages of zircon formation 464 ± 5 and 439 ± 3 Ma is possibly to be interpreted as age of tectonic ultramafite re-processing. Thus Sarany intrusion probably is the uppest part of the big block situated in 30 km to the West and structurally below Main Ural Deep Fault

Key words: *Urals, deep structure, seismic profile, gravity and magnetic modeling.*

REFERENCES

1. Ablizin B.D., Klyuzhina M.L., Kurbatskaja F.A., Kurbatskij A.M. (1982) *Verkhnij rifej i vend zapadnogo sclona Srednego Urala* [Upper Riphean and Vendian of the western slope of the Middle Urals]. Moscow: Nauka Publ., 140 p. (In Russian)
2. Anan'eva E.M., Vinnichuk N.N., Ivanov K.S., Kormil'tsev V.V., Fedorov Yu.N. (2008) *O plotnosti porod vostoka Urala i fundamenta Zapadno-Sibirskoj platformy* [The density of the rocks in the East of the Urals and the basement of the West Siberian platform]. Ekaterinburg: UrO RAN Publ., 114 p. (In Russian)
3. Antsygin N.Ja. (1999) On the age Sinegorskaya Formation in the Middle Urals. *Problemy stratigrafii i paleontologii Urala* [Problems of Stratigraphy and Paleontology of the Urals]. Ekaterinburg: Urgeolcom, 20-23. (In Russian)
4. Berl'and N.G. (2007) *Glubinnoe stroenie i evolyutsija litosfery Urala* [Deep structure and evolution of the lithosphere of the Urals]. St-Petersburg: VSEGEI Publ., 256 p. (In Russian)
5. Borozdina G.N., Ivanov K.S., Bogojavlenskaja V.M. (2010) *Stratigrafija vulkanogennykh i vulkanogenno-osadochnykh otlozhenij Salatimskoj i Tagil'skoj zon Urala* [Stratigraphy of volcanic and volcanic-sedimentary deposits Salatim and Tagil Urals regions]. Ekaterinburg: UrO RAN Publ., 152 p. (In Russian)
6. Volchenko Yu.A., Brjanskij Ja.Sh., Vilesov N.G. (1979) New data on the geology and ore-bearing Sarany

- ny complex. *Genezis orudenenija v bazitakh i giperbazitakh* [The genesis of mineralization in the basites and ultramafites]. Sverdlovsk: UNTs AN SSSR, 70-81. (In Russian)
7. Geotravers "GRANIT": *Vostochno-Evropejskaja platforma-Ural-Zapadnaja Sibir'* (stroenie zemnoj kory po rezul'tatam kompleksnykh geologo-geofizicheskikh issledovanij) (2002) (Pod red. S.N. Kashubina). [Geotraverse "GRANITE": East-European platform-Urals-West Siberia (the structure of the Earth's crust as a result of complex geological and geophysical studies). (Ed. S.N. Kashubin)]. Ekaterinburg: MPR Rossii po Sverdlovskoj obl., "Bazhenovskaja geofizicheskaja ekspeditsija", 312 p. (In Russian)
 8. *Glubinnoe stroenie i geodinamika Yuzhnogo Urala (proekt URALSEJS)* (2001). (Gl. red. A.F. Morozov) [Deep structure and geodynamics of the Southern Urals (URALSEYS project). (Ed. A.F. Morozov)]. Tver': Gers Publ., 286 p. (In Russian)
 9. Goloburdina M.N., Luk'janova L.I., Lepehina E.N. (2014) Alkaline-ultramafic rocks of the region of Mount Blagodat' (the western slope of the Central Urals). *Regional'naja geologija i metallogenija*, **59**, 28-41. (In Russian)
 10. Zil'berman A.M., Chernyshova E.M., Kichigin Yu.N. (1980) New occurrences of alkaline-ultramafic volcanic activity on the western slope of the Middle Urals. *Doorodovskaja istorija Urala. Vyp. 3: Vulkanizm* [Pre-Ordovician history of the Urals. V. 3: Volcanism]. Sverdlovsk: IGIG UNTs AN SSSR, 30-46. (In Russian)
 11. Zoloev K.K., Rapoport M.S., Popov B.A., Plyusnin K.P., Karetin Yu.S., Shub V.S., Anan'eva E.M., Kontar' E.S. (1981) *Geologicheskoe razvitie i metallogenija Urala* [Geological evolution and metallogeny of the Urals]. Moscow: Nedra Publ., 256 p. (In Russian)
 12. Zorin V.N. (2002) *Geologicheskaja karta Rossijskoj Federatsii. Permskaja serija. O-40-XVII (Gornozavodsk)*. (Pod red. G.G. Morozova) [Geological map of the Russian Federation. Perm series. O-40-XVII (Gornozavodsk). (Ed. G.G. Morozov)]. Perm': PGGSP "Geokarta". (In Russian)
 13. Ivanov K.S. (1998) *Osnovnye cherty geologicheskoi istorii (1.6–0.2 mlrd let) i stroenija Urala* [The main features of geological history (1.6–0.2 Ga) and the structure of the Urals]. Ekaterinburg: UrO RAN Publ., 252 p. (In Russian)
 14. Ivanov K.S. (1998) The current structure of the Urals – the result of post-Paleozoic extension of the crust *Geol. Geofiz.*, **39**(2), 204-210. (In Russian)
 15. Ivanov K.S., Berzin S.V., Erohin Yu.V. (2012) The first data about U-Pb-age relic zircons from spreading zones in the Middle Urals. *Dokl. Akad. Nauk*, **443**(1), 78-83. (In Russian)
 16. Ivanov K.S., Bykovskaja E.A. (1999) Tectonics and the formations of Nizhny Tagil massif (0-40-XXIV sheet). *Ural'skaja letnjaja mineralogicheskaja shkola-99* [Ural Summer mineralogical School-99]. Ekaterinburg: UGGGA, 122-127. (In Russian)
 17. Ivanov K.S., Erohin Yu.V., Smirnov V.N., Slobodchikov E.A. (2002) *Riftogenez na Srednem Urale (kompleksy i struktury rastjazhenija v istorii razvitiya Srednego Urala)* [Rifting the Middle Urals (complexes and tensile structures in the history of the Middle Urals)]. Ekaterinburg: UrO RAN Publ., 91 p. (In Russian)
 18. Ivanov K.S., Smirnov V.N., Erohin Yu.V. (2000) *Tektonika i magmatizm kollizionnoj stadii (na primere Srednego Urala)* [Tectonics and magmatism collision stage (on the example of the Middle Urals)]. Ekaterinburg: UrO RAN Publ., 133 p. (In Russian)
 19. Ivanov O.K. (1990) *Rassloennye khromitonochnye ul'tramafity Urala* [Stratified chromite-bearing ultramafites of Urals]. Moscow: Nauka Publ., 243 p. (In Russian)
 20. Ivanov S.N., Puchkov V.N., Ivanov K.S. et al. (1986) *Formirovanie zemnoj kory Urala* [Formation of the crust of the Urals]. Moscow: Nauka Publ., 248 p. (In Russian)
 21. Kashubin S.N., Druzhinin V.S., Rybalka A.V. (2007) Deep seismic studies of the Ural fold belt. *Modeli zemnoj kory i verkhnej mantii po rezul'tatam glubinnoego sejsmoprofilirovanija* [Models of the Earth's crust and upper mantle as a result of deep seismic profiling] St-Petersburg, VSEGEI, 68-72. (In Russian)
 22. Koroteev V.A., Ogorodnikov V.N., Sazonov V.N., Polenov Yu.A. (2006) Riphean rift ophiolites and conjugate Minera-geny Southern Urals. *Dokl. Akad. Nauk*, **410**(6), 780-783. (In Russian)
 23. Koroteev V.A., Yazeva R.G., Ivanov K.S., Bochkarev V.V. (2001) Palaeozoic subduction in the geologic history of the Urals. *Otechestv. geologija*, (6), 50-58. (In Russian)
 24. Kostrov N.P. (1999). *Algoritmy rascheta anomal'nogo polja 2D i 3D sil'no namagnichennykh tel i ikh realizatsija v srede Unix*. Dis. cand. geol.-min. nauk [Algorithms for calculating the anomalous field of 2D and 3D strongly magnetized bodies and their implementation in the Unix environment. Cand. geol. and min. sci. diss.]. Ekaterinburg: IG UrO RAN, 79 p. (In Russian)
 25. Kostrov N.P., Kormil'tsev V.V., Fedorov Yu.N. (2005) 3D gravity and magnetic interpretation of the system of observations for the purpose of geological mapping of the pre-Jurassic complex of West Siberia. *Gornye vedomosti*, (1), 57-61. (In Russian)
 26. Kostyuchenko S.L., Egorkin A.V., Solodilov L.N. (1998) Features of the lithosphere of the Urals on the results of the multi-wavelength deep seismic sounding. *Geotektonika*, (4), 3-18. (In Russian)
 27. Krasnobaev A.A., Rusin A.I., Busharina S.V., Antonov A.V. (2013) Zirconology of dunite Sarany chromite-bearing ultramafic complex (Middle Urals). *Dokl. Akad. Nauk*, **451**(1), 81-86. (In Russian)
 28. Kuznetsov N.B., Soboleva A.A., Udoratina O.V., Gertseva M.V., Andreichev V.L., Dorohov N.S. (2006) pre-Urals tectonic evolution of the eastern and north-eastern framing of the East-European platform. *Litosfera*, (4), 3-22. (In Russian)
 29. Lennykh V.I., Pankov Yu.D., Petrov V.I. (1978) Petrology and metamorphism of migmatite complex. *Petrologija i zhelezorudnye mestorozhdenija taratashskogo kompleksa* [Petrology and iron ore deposits of Taratash complex]. Sverdlovsk: UNTs AN SSSR, 3-45. (In Russian)
 30. Maslov A.V., Grazhdankin D.V. (2011) Riphean and Vendian Southern and Middle Urals: current state lithologic and stratigraphic studies. *Materialy 6-go Vserossijskogo litologicheskogo soveshchanija. T. II* [Proc. 6-th All-Russian lithological conference. V. II]. Kazan' St. Univ., 20-23. (In Russian)
 31. Ogarinov I.S. (1974) *Glubinnoe stroenie Urala* [Deep structure of the Urals]. Moscow: Nauka Publ., 86 p. (In Russian)

- Russian)
32. Petrov G.A. (2006) *Geologija i mineralogija zony Glavnogo Ural'skogo razloma na Srednem Urale* [Geology and mineralogy of the Main Uralian Fault zone in the Middle Urals]. Ekaterinburg: UGGU Publ., 195 p. (In Russian)
 33. Petrov G.A. (2016) *Geologija dopaleozojskikh kompleksov srednej chasti Ural'skogo podvizhnogo pojasa*. Dis. doct. geol.-min. nauk [Geology pre-Paleozoic complexes of the middle part of the Ural mobile belt. Dr. geol. and min. sci. diss.]. St-Petersburg, 329 p. (In Russian)
 34. Petrov G.A., Rybalka A.V. (2011) Deep structure of the Urals based on Geophysical transeks *Sovremennoe sostojanie nauk o Zemle. Materialy Mezhdunarodnoj konferentsii pamjati V.E. Haina* ["The current state of Earth Sciences". Proc. of International Conference of Memory V.E. Khain]. Moscow St. Univ. Publ., 1430-1435. (In Russian)
 35. Petrov G.A. et al. (2000) *Gosudarstvennaja geologicheskaja karta Rossijskoj Federatsii masshtaba 1 : 200 000. List O-40-XVIII* [State Geological Russian Federation map scale of 1 : 200 000. List O-40-XVIII]. Ekaterinburg. (In Russian)
 36. Popov K.V. (1997) *Analiz magnitnykh kharakteristik serpentinitov okeanicheskoy kory*. Autoref. dis. cand. geol.-min. nauk [Analysis of the magnetic characteristics of oceanic crust serpentinites. Abstract cand. geol. and min. sci. diss.]. Moscow, 21 p. (In Russian)
 37. Puchkov V.N. (2010) *Geologija Urala i Priural'ja* [The geology of the Urals and the Cisurals]. Ufa: DizajnPoligrafServis Publ., 280 p. (In Russian)
 38. Pystin A.M. (1978) Alexanderovsk gneiss-amphibolite complex. *Vulkanizm, metamorfizm i zhelezistyje kvartsy obramlenija taratashskogo kompleksa* [Volcanism, metamorphism and ferruginous quartzites of framing Taratash complex]. Sverdlovsk: UNTs AN SSSR Publ., 3-33. (In Russian)
 39. Pystin A.M. (1994) *Polimetamorficheskie komplekсы zapadnogo sklona Urala* [Polymetamorphic complexes of the western slope of the Urals]. St-Petersburg: Nauka Publ., 208 p. (In Russian)
 40. Rybalka A.V. (2015) *Seismogeologicheskaja model' zemnoj kory Srednego Urala (po materialam Sredne-Ural'skogo transekt)*. Dis. doct. geol.-min. nauk [Seismogeological model of the crust of the Middle Urals (based on the Mid-Urals transect). Dr. geol. and min. sci. diss.]. Ekaterinburg: UGGU Publ., 137 p. (In Russian)
 41. Rybalka V.M., Anan'eva E.M., Kashubin S.N. et al. (1997) Deep structure of the Urals based on geophysical data. *Geologija i mineragenija podvizhnykh pojasev* [Geology and Minerageny of mobile belts]. Ekaterinburg: Uralgeolkom Publ. 101-118. (In Russian)
 42. Rybalka A.V., Kashubina T.V., Petrov G.A., Kashubin S.N. (2007) Middle-Urals transekt: new data on deep structure of the Urals. *Modeli zemnoj kory i verkhnej mantii po rezul'tatam glubinnogo sejsmoprofilirovanija* [Models of the Earth's crust and upper mantle as a result of deep seismic profiling]. St-Petersburg, VSEGEI Publ., 186-191. (In Russian)
 43. Rybalka A.V., Petrov G.A., Kashubin S.N., Yuhlin K. (2006) Middle-Urals transekt *ESRU. "Struktura i dinamika litosfery Vostochnoj Evropy. Vyp. 2": Rezul'taty issledovanij po programme EVROPROBA* [Structure and dynamics of the lithosphere of Eastern Europe. V. 2: Results EUROPROBE research program]. Moscow: GEOKART, GEOS, 390-401. (In Russian)
 44. Ryl'kov S.A., Rybalka A.V., Ivanov K.S. (2013) Deep structure and metallogeny of the Urals: comparison of the deep structure of the Southern, Middle and Polar Urals. *Litosfera*, (1), 3-16. (In Russian)
 45. Samygin S.G., Ruzhentsev S.V. (2003) Urals Pale-Ocean: model of inherit development. *Dokl. Akad. Nauk*, **392**(2), 226-229. (In Russian)
 46. Svjazhina I.A., Puchkov V.N., Ivanov K.S., Petrov G.A. (2003) *Paleomagnetizm ordovika Urala*. (Ed. V.A. Koroteev) [Paleomagnetism of Ordovician of the Urals. (Ed. V.A. Koroteev)]. Ekaterinburg: UrO RAN Publ., 134 p. (In Russian)
 47. Smirnov V.N., Borozdina G.N., Desjatnychenko L.I., Ivanov K.S., Medvedeva T.Yu., Fadeicheva I.F. (2006) About the time of the disclosure of the Ural paleocean. *Geol. Geofiz.*, **47**(6), 755-761. (In Russian)
 48. Sokolov V.B. (1992) The structure of the crust of the Urals. *Geotektonika*, (5), 3-20. (In Russian)
 49. *Stratigraficheskie skhemy Urala (dokembrij, paleozoj)* (1993) [Stratigraphic scheme of the Urals (Precambrian, Paleozoic)]. Ekaterinburg: IGG UrO RAN; Uralgeolkom Publ., 152 p. (In Russian)
 50. *Stroenie i dinamika litosfery Vostochnoj Evropy. Rezul'taty issledovanij po programme EUROPROBE* (2006) (Pod red. A.F. Morozova) [The structure and dynamics of the lithosphere of Eastern Europe. The results of the EUROPROBE research program (Ed. A.F. Morozov)]. Moscow: GEOKART; GEOS Publ., 736 p. (In Russian)
 51. Tavrín I.F., Halevin N.I. (1990) Geophysical model of the crust of the Urals. *Geotektonika*, (3), 39-49. (In Russian)
 52. *Tektonika Urala (ob "jasniel'naja zapiska k tektonicheskoy karte Urala masshtaba 1 : 1 000 000)*. Pejve A.V., Ivanov S.N., Necheuhin V.M., Perfil'ev A.S., Puchkov V.N. (1977) [Tectonics of the Urals (explanatory note to the Urals tectonic map scale of 1 : 1 000 000)]. Moscow: Nauka Publ., 120 p. (In Russian)
 53. Fedorova N.V., Shapiro V.A., Chursin. A.V. (2006) *Geomagnitnaja model' zemnoj kory po profilu URSEIS. Stroenie i geodinamika litosfery Vostochnoj Evropy. Rezul'taty issledovanij po programme EUROPROBE* [Geomagnetic model of the Earth crust based on URSEIS profile. The structure and geodynamics of the lithosphere of Eastern Europe. The results of studies on the program EUROPROBE]. Moscow: GEOKART; GEOS Publ., 736 p. (In Russian)
 54. Fedorov Yu.N., Kostrov N.P., Knjazeva I.V., Kormil'tsev V.V. (2006) Archimedean balance in the Earth's crust in Western Siberia (the left bank of the Ob and the Trans-Urals). *Gornye vedomosti*, (7), 22-31. (In Russian)
 55. Berzin R., Onken O., Knapp J.H., Perez-Estaun A., Hismatulin T., Yunusov N., Lipilin A. (1996) Orogenic evolution of the Urals mountains: results from an integrated seismic experiment. *Science*, **274**, 220-221.
 56. Brown D., Juhlin C., Tryggvason A., Friberg M., Rybalka A., Puchkov V., Petrov G. (2006) Structural architecture of the Southern and Middle Urals foreland from reflection seismic profiles. *Tectonics*, **25**, doi: 10.1029/2005TC001834
 57. Brown D., Juhlin C., Tryggvason A., Steer D., Ayarza P., Beckholmen M., Rybalka A., Bliznetsov M. (2002) The

- Crustal Architecture of the Southern and Middle Urals From the URSEIS, ESRU, and Alapaevsk Reflection Seismic Surveys. // Mountain Building in the Uralides: Pangea to the Present. *AGU Geophysical Monograph Series*, **132**, 33-48
58. Diaconescu C.C., Knapp J.H., Brown L.D., Steer D.N., Stiller M. (1998) Precambrian Moho offset and tectonic stability of the East-European platform from the URSEIS deep seismic profile. *Geology*, **26**(3), 211-214.
 59. Echtler H.P., Ivanov K.S., Ronkin Y.L., Karsten L.A. et al. (1997) The tectono-metamorphic evolution of gneiss complexes in the Middle Urals (Russia): a reappraisal. *Tectonophysics*, **276**, 229-251.
 60. Echtler H.P., Stiller M., Steinhoff F., Krawczyk C., Suleimanov A., Spiridonov V., Knapp J.H., Menshikov Y., Alvarez-Marron J., Yunusov N. (1996) Preserved collisional crustal structure of the southern Urals revealed by Vibroseis profiling. *Science*, **274**, 224-225.
 61. Glebovsky V.Yu., Maschenkov S.P., Gorodnitsky A.M., Belyaev I.I., Filin F.M., Mercuriev S.A., Sochevanova N.A., Lukyanov S.V., Valyashko G.M., Popov E.A., Popov K.V. (1995) Anomalous Magnetic Field of the World Ocean, CRC Press, 272 p.
 62. Ivanov K.S., Karsten L.A., Maslov A.V. et al. (1995) EUROPROBE Guidebook. South Urals Seismoprofile Area. Ekaterinburg: Urals Branch of RAS, 115 p.
 63. Ivanov K.S., Puchkov V.N., Fyodorov Yu.N., Erokhin Yu.V., Pogromskaya O.E. (2013) Tectonics of the Urals and adjacent part of the West-Siberian platform basement: main features of geology development. *J. Asian Earth Sciences*. Geological Evolution of Asia. **72**, 12-24.
 64. Ivanov S.N., Ivanov K.S. (1993) Hydrodynamic Zoning of the Earth's crust and its Significance. *J. Geodynamics*, **17**(4), 155-180.
 65. Kashubin S., Juhlin C., Friberg M., Rybalka A., Petrov G., Kashubin A., Bliznetsov M., Steer D. (2006) Crustal structure of the Middle Urals based on reflection seismic data. European Lithosphere Dynamics. *Geol. Soc. London, Mem.*, **32**, 427-442.
 66. Keating P., Pinet N. (2011) Use of non-linear filtering for the regional-residual separation of potential field data. *J. Applied Geophys.*, **73**, 315-322
 67. Knapp J.H., Steer D.N., Brown L.D., Berzin R., Suleimanov A., Stiller M., Luschen E., Brown D.L., Bulgakov R., Kashubin S., Rybalka A.V. (1996) Lithosphere-scale seismic image of the Southern Urals from explosion-source reflection profiling. *Science*, **274**, 226-227.
 68. Kostrov N.P. (2007). Calculation of magnetic anomalies caused by 2D bodies of arbitrary shape with consideration of demagnetization. *Geophysical Prospecting*, **55**(1), 91-115.