УДК 550.831

КАРТИРОВАНИЕ БАЗИТ-УЛЬТРАБАЗИТОВЫХ МАССИВОВ В ВЕРХНИХ ГОРИЗОНТАХ ФУНДАМЕНТА ПРИПОЛЯРНОГО СЕКТОРА ЕВРАЗИИ

Федорова Н.В. – Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург

Аннотация. Для приполярного сектора Евразии выделены локальные аномалии гравитационного и магнитного полей с использованием новой компьютерной технологии. В пределах Тимано-Печорского и Западно-Сибирского бассейнов построена прогнозная карта базит-ультрабазитовых массивов, расположенных под осадочными породами в верхней части фундамента до глубины 5 км.

Гравитационные и магнитные аномалии, глубинное строение, земная кора.

MAPPING OF MAFIC-ULTRABASIC MASSIF IN THE UPPER HORIZONS OF THE BASEMENT POLAR SECTOR OF EURASIA

Fedorova N.V. – Institute of Geophysics, UB RAS, Yekaterinburg

Abstract. For polar sector of Eurasia local anomalies of the gravitational and magnetic fields have been allocated using new computer technology. For Timan-Pechora and West Siberian basin forecast map mafic and ultra-mafic massifs beneath the sedimentary rocks in the upper part of the foundation to a depth of 5 km, it was built.

Gravity and magnetic anomalies, deep structure, the earth's crust.

Введение

Создание комплексной объемной геолого-геофизической модели глубинного строения земной коры и верхней мантии является фундаментальным направлением в науках о Земле. Геофизические и, прежде всего, сейсмические исследования показали, что слои земной коры имеют сложное неоднородное строение, как по глубине, так и по латерали. Для приполярного сектора Евразии, состоящего из Полярного и Приполярного секторов Уральской складчатой системы, Тимано-Печорского и Западно-Сибирского бассейнов, а также северо-восточного края Восточно-Европейской платформы, в пределах трапеции 48–72º в.д. и 60–68º с.ш. вдоль профилей ГСЗ построены градиентные сейсмические разрезы и модели распределения плотности и намагниченности в земной коре (Дружинин и др., 2011; Колмогорова, Федорова, 2015; Мартышко и др., 2012б; Федорова, Колмогорова, 2013; Федорова и др., 2013; Martyshko et al., 2010). При региональных исследованиях установлено, что основными источниками, создающими магнитные аномалии, являются породы основного и ультраосновного состава (Петрофизика … , 1992). Как правило, массивы этих пород имеют значительный контраст плотности относительно вмещающих пород и создают гравитационные аномалии. Поэтому использование аномалий магнитного и гравитационного полей позволяет уточнить петрофизический состав пород в слоях земной коры.

Цель настоящей работы состоит в картировании в верхней части фундамента базит-ультрабазитовых массивов с помощью данных о распределении локальных гравитационных и магнитных аномалий на закрытых территориях приарктической части Евразии.

Методика выделения локальных аномалий

Большая часть исследуемой территории покрыта осадочным чехлом, мощность которого в пределах впадин достигает 8–12 км. Наблюдаемые гравитационное и магнитное поля имеют интегральный характер и содержат аномалии от всех источников, расположенных в верхней литосфере. Это отчетливо можно продемонстрировать при сопоставлении геологической карты и карт аномальных магнитного и гравитационного полей над обнаженной частью Полярного Урала.

На рис. 1а (цветная вкладка) приведена геологическая карта Полярного и Приполярного Урала, востока Тимано-Печорской

плиты и северной части Западной Сибири. Карты аномального магнитного и гравитационного полей для этой территории приведены на рис. 1б и 1в (цветная вкладка). На геологической карте прямоугольником выделен район с Войкарсыньинским массивом, который содержит крупные комплексы габбро, ультрабазитов, амфиболитов, диоритов и гранитов. Видно, что использовать непосредственно аномальные гравитационные и магнитные поля трудно для локализации выходящих на поверхность блоков гипербазитов и габбро, поскольку размеры аномалий геофизических полей значительно превышают размеры базит-ультрабазитовых массивов. Для этих целей необходимо выполнить разделение аномалий от приповерхностных и глубинных структур земной коры.

Для выделения аномалии от верхней части коры была использована методика, основанная на повысотных пересчетах (Мартышко, Пруткин, 2003). Задача о выделении эффекта от локальных источников, расположенных в горизонтальном слое от земной поверхности до некоторой глубины H, решалась в несколько этапов. На первом этапе наблюденное гравитационное или магнитное поле с помощью численного метода пересчитывалось вверх на высоту H.

При удалении от локальных источников интенсивность аномалий значительно снижается. С увеличением расстояния R от источника гравитационное поле затухает по закону – $1/R^2$, а магнитное – $1/R^3$. Если источник вблизи поверхности создавал гравитационную аномалию 20 мГал и магнитную аномалию 500 нТл, то на высоте 5 км интенсивность гравитационной аномалии будет меньше 1 мГал, а интенсивность магнитной аномалии будет меньше 4 нТл, то есть интенсивность аномалий по величине становится сравнима с погрешностью наблюдений.

Затем, для того чтобы окончательно избавиться от влияния источников в верхнем слое, пересчитанное вверх поле аналитически продолжалось вниз на глубину H. Поскольку задача пересчета поля вниз относится к классу некорректно поставленных задач, то использовались методы с применением регуляризации. На следующем этапе поле пересчитывается вновь вверх на уровень дневной поверхности $h = 0$. Полученное трансформированное поле можно рассматривать как поле от источников, расположенных ниже границы H. После вычисления разности наблюденного и трансформированного полей получаем аномалии от локальных источников, расположенных в верхнем слое.

С помощью вычислений для разных значений высоты H, можно получить аномалии от источников, расположенных в различных горизонтальных слоях.

При изучении крупных территорий приходится задавать большие массивы данных, что приводит к значительным затратам времени при вычислениях на однопроцессорных компьютерах. Использование параллельных алгоритмов для многопроцессорных вычислительных систем значительно сокращает время расчетов. Создана новая компьютерная технология, основанная на параллельных вычислениях. Описание математического аппарата и алгоритмов параллельных вычислений приведено в работах (Мартышко и др., 2012а; 2014). Результаты применения разработанной технологии и карты аномалий от различных слоев земной коры для исследуемой территории опубликованы в статьях (Федорова и др., 2015; Fedorova et al., 2015).

Результаты и их обсуждение

Для исследуемого приполярного сектора Евразии мощность осадочного покрова на большей части территории не превосходят 4 км, поэтому локальные аномалии гравитационного и магнитного полей выделены для верхнего слоя земной коры до глубины 5 км. В приполярной области Земли направление вектора геомагнитного поля близко к вертикальному. Над приповерхностным источником, намагниченным вертикально, как правило, расположена положительная часть магнитной аномалии. Поэтому для сопоставления контуров массивов и аномалий были использованы

только положительные локальные магнитные аномалии.

Сопоставление данных геологического картирования и выделенных локальных аномалий иллюстрируется для участка Полярного Урала в районе крупного Войкарсыньинского массива (рис. 2, цветная вкладка). Использована геологическая карта масштаба 1:1000000 третьего поколения (Государственная … , 2007б).

Интенсивные локальные магнитные аномалии наблюдаются над краевыми частями гипербазитовых массивов и практически совпадают с результатами геологического картирования серпентинитов (рис. 2а, цветная вкладка). Менее интенсивные аномалии наблюдаются в ряде мест над габброидами и гранодиоритами. Над осадочными комплексами Западной Сибири наблюдаются несколько интенсивных локальных аномалий (до 200 нТл), что свидетельствует о наличии базит-ультрабазитвых комплексов в верхней части кристаллического фундамента.

Над гипербазитами наблюдаются как положительные, так и отрицательные гравитационные локальные аномалии (рис. 2б, цветная вкладка). Как правило, над краями массивов расположены слабые отрицательные аномалии (3–6 мГал), а над центральными частями – более интенсивные положительные аномалии (6–15 мГал). Это отражает изменение физических свойств пород при различных процессах метаморфизма ультраосновных пород (Петрофизика, 1992; Ананьева и др., 2008). Подавляющее большинство глубинных ультраосновных пород не содержат первичных ферромагнитных минералов. Плотность неизмененных ультрабазитовых пород значительно превосходит среднюю плотность пород верхнего слоя кристаллической коры и составляет 2,8–3,4 г/см^3. При серпентинизации ультрабазитов происходит уменьшение плотности пород до значений 2,4–2,7 г/см^3 и образуются магнитные минералы, в основном, магнетит. Серпентинизация с образованием магнетита более активно происходит в краевых частях массивов и по разломам.

Базальтовые породы и габбро могут иметь значительную намагниченность при высоких значениях плотности. Такие массивы могут создавать положительные гравитационные и магнитные локальные аномалии.

Над осадочными породами на западе и на востоке от открытого Урала интенсивность локальных гравитационных аномалий не превосходит 3 мГал. Поэтому для картирования базит-ультрабазитовых массивов на закрытых площадях лучше использовать карты локальных магнитных аномалий.

Отметим, что на рис. 2б (цветная вкладка) над гранитными массивами выделены протяженные гравитационные отрицательные аномалии небольшой интенсивности (3–5 мГал), причем контуры нулевой изолинии достаточно хорошо совпадают с границами массивов. На Южном, Среднем и Северном Урале граниты обладают слабыми магнитными свойствам, над ними наблюдается спокойное магнитное поле. Небольшие магнитные аномалии наблюдаются над массивами, состоящими из диоритов и гранодиоритов. Наличие магнитных аномалий над гранитными массивами на приведенной карте (см. рис. 2а, цветная вкладка), скорее всего, свидетельствует, что гранитные блоки имеют небольшую мощность, и под ними расположены основные или ультраосновные интрузивы.

Для Полярного, Приполярного Урала и прилегающих территорий Тимано-Печерской провинции и Западной Сибири построена совмещенная карта локальных гравитационных и положительных магнитных аномалий. На основании этих данных построена прогнозная карта базит-ультрабазитовых массивов в верхний части фундамента (рис. 3, цветная вкладка).

Проведено сравнение карты с результатами интепретации магнитного поля вдоль профилей ГСЗ: Агат-2, Кварц, Рубин-1, Глобус и др. (Федорова и др., 2013; Колмогорова, Федорова, 2015), которое показало, что на разрезах намагниченные источники, выделенные в верхней коре до глубины 5 км, хорошо соответствуют рас-

положению массивов на построенной карте.

В пределах Тимано-Печорской плиты выделено незначительное количество локальных магнитных аномалий, и, следовательно, верхний слой содержит лишь небольшое количество базит-ультрабазитовых комплексов. В пределах Тиманского кряжа данные построенной карты совпадают с выходами на поверхность габброидов.

Территория Западной Сибири покрыта плотной сетью локальных аномалий. Поэтому построенная карта была сопоставлена с картами-схемами геологического строения фундамента Западно-Сибирской плиты (листы Q-41, Q-42, P-41 и P-42) (Государственная … , 2007а; 2007б; 2011; 2014). Положение на этих картах гипербазитовых комплексов (серпентинизированные дуниты, гарцбургиты, лерцолиты, пироксениты, серпентиниты), габброидных комплексов (габбро, габбронориты, габбродиориты. пироксениты), а также диорит-гранодиорит-гранитовых комплексов в основном определено по геофизическим полям и лишь в некоторых местах подтверждено результатами бурения. При составлении сводных карт-схем использованы материалы разных авторов, полученные в период с 1959 по 2004 гг. По-видимому, были использованы разные методики построения карт. Тем не менее, в большинстве случаев положение базит-ультрабазитовых комплексов на этих картах-схемах и нашей карте совпадает. В отличии от карт-схем, на новой прогнозной карте, построенной по единой методике, выделено значительно больше массивов.

Заключение

Для приполярного сектора Евразии с использованием новой компьютерной технологии выделены локальные аномалии гравитационного и магнитного полей, на их основе построена прогнозная карта базит-ультрабазитовых массивов, расположенных под осадочными породами в верхней части фундамента до глубины 5 км. Применив разработанную методику, можно выделить массивы в более глубоких слоях фундамента.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российским научным фондом, грант №14-27-00059 «Построение трехмерных моделей глубинного строения приарктической части Уральского региона на основе новых методов комплексной интерпретации геофизических полей и современных компьютерных технологий сеточного моделирования».

Литература

Ананьева Е. М., Винничук Н.Н., Иванов К.С., Кормильцев В.В., Федоров Ю.Н. О плотности пород востока Урала и фундамента Западно-Сибирской платформы / Отв. ред. Е. М. Ананьева, Н. В. Федорова. Екатеринбург: УрО РАН, 2008. 114 с.

Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:1000000 Уральская серия, лист P-41 (третье поколение) СПб.: ВСЕГЕИ, 2007а.

Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:1000000 Уральская серия, лист Q-41 (третье поколение) СПб.: ВСЕГЕИ, 2007б.

Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:1000000 Западно-Сибирская серия, лист Q-42 (третье поколение) СПб.: ВСЕГЕИ, 2011.

Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:1000000 Западно-Сибирская серия, лист P-42 (третье поколение) СПб.: ВСЕГЕИ, 2014.

Дружинин В.С., Мартышко П.С., Начапкин Н.И., Осипов В.Ю., Федорова Н.В. Оценка нефтегазоперспективности Тимано-Печорской плиты с учётом объёмной модели верхней части литосферы // Отечественная геология. 2011. № 3. С. 22–29.

Колмогорова В.В., Федорова Н.В. Результаты моделирования глубинного строения земной коры уральской части геотраверса Кварц // Геофизика. 2015. № 6. С. 67–82.

Мартышко П.С., Пруткин И.Л. Технология разделения источников гравитационного поля по глубине // Геофизический журнал. 2003. Т. 25. № 3. С. 159–168.

Мартышко П.С., Фёдорова Н.В, Гемайдинов Д.В. Применение параллельных алгоритмов вычислений при изучении структу-

ры аномального магнитного поля Урала // Доклады Академии наук. 2012а. Т. 446. № 2. С. 201–203.

Мартышко П.С., Ладовский И.В., Колмогорова В.В., Цидаев А.Г., Бызов Д.Д. Применение сеточных функций в задачах трехмерного плотностного моделирования // Уральский геофизический вестник. 2012б. № 1. С. 30–34.

Мартышко П.С., Федорова Н.В, Акимова Е.Н., Гемайдинов Д.В. Изучение структурных особенностей гравитационного и магнитного полей литосферы с использованием параллельных алгоритмов // Физика Земли. 2014. №4. С. 50–55. DOI: 10.7868/S0002333714040097.

Петрофизика: Справочник. Книга третья. Земная кора и мантия / Под ред. Н.Б. Дортман. М.: Недра, 1992. 286 с.

Федорова Н.В., Колмогорова В.В Модели распределения намагниченности и скорости продольных волн в земной коре Тимано-Печорского и Северо-Уральского регионов // Литосфера. 2013. № 5. С. 141–150.

Федорова Н.В., Колмогорова В.В., Рублев А.Л., Цидаев А.Г. Магнитная модель северо-восточной части Европы // Геофизические исследования. 2013.Т. 14. № 2. С. 25–37.

Федорова Н.В., Мартышко П.С., Гемайдинов Д.В., Рублев А.Л. Компьютерная технология выделения магнитных аномалий от слоев земной коры и результаты ее применения для северной части Евразии // Уральский геофизический вестник. 2015. № 2 (26). С. 58–66.

Fedorova N. V., Martyshko P.S., Gemaidinov D.V., Rublev A.L., Computer technology for highlighting the magnetic anomalies from the deep layers of the Earth's crust // Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects. 2015. № 14. P. 1–4. DOI:10.3997/2214-4609.201412426.

Martyshko P.S., Fedorova N.V., Kolmogorova V.V., Ladovskiy I.V. Geophysical models of the Earth’s crust structure of the Northern Urals // Society of Petroleum Engineers – 72nd European Association of Geoscientists and Engineers Conference and Exhibition 2010 – Incorporating SPE EUROPEC 2010. Barcelona, 2010. P. 5230–5234.

К статье Федоровой Н.В. – «Картирование базит-ультрабазитовых массивов в верхних горизонтах фундамента приполярного сектора Евразии»

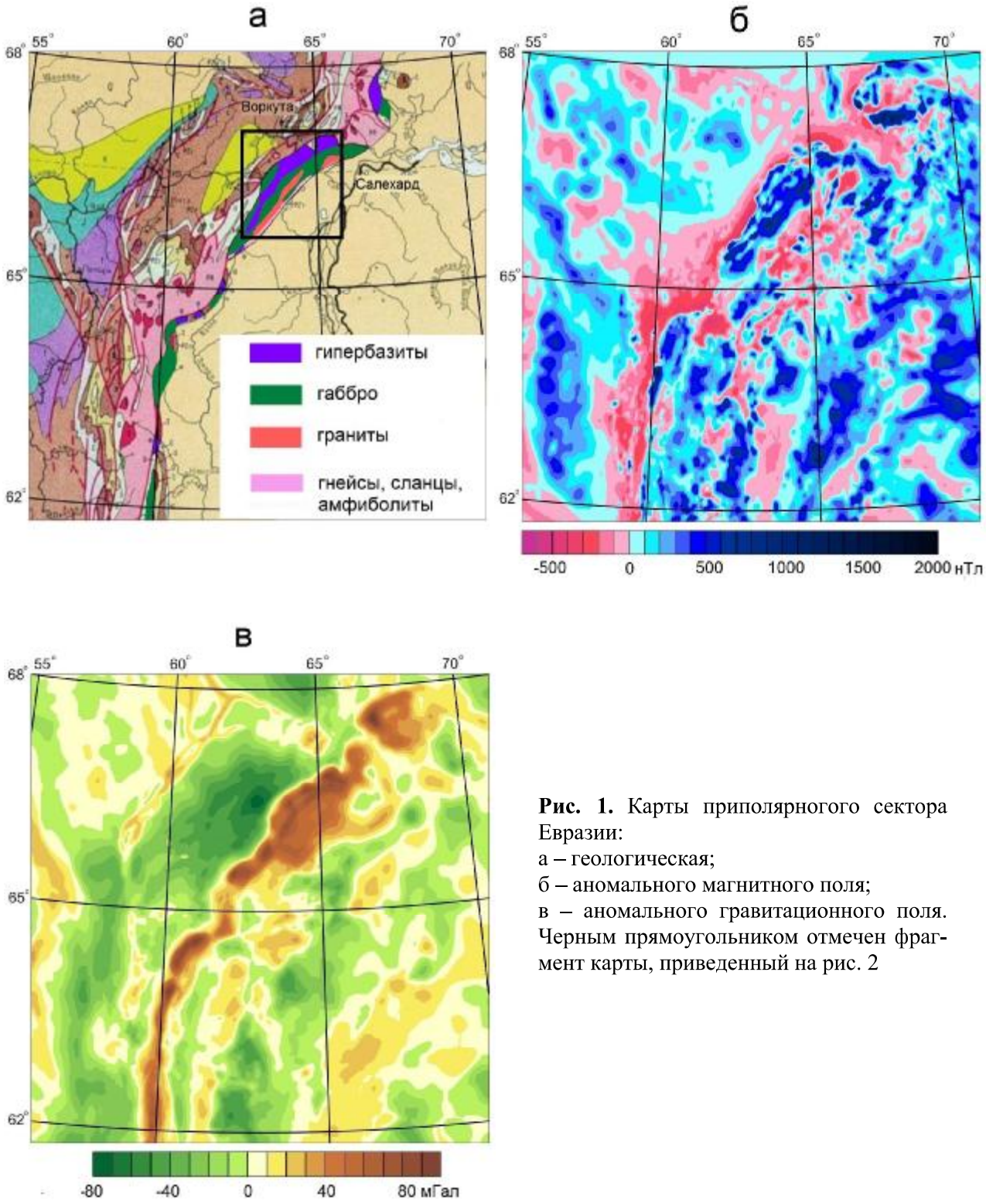

Рис. 1. Карты приполярногого сектора Евразии:
а – геологическая;
б – аномального магнитного поля;
в – аномального гравитационного поля. Черным прямоугольником отмечен фрагмент карты, приведенный на рис. 2

К статье Федоровой Н.В. – «Картирование базит-ультрабазитовых массивов в верхних горизонтах фундамента приполярного сектора Евразии»

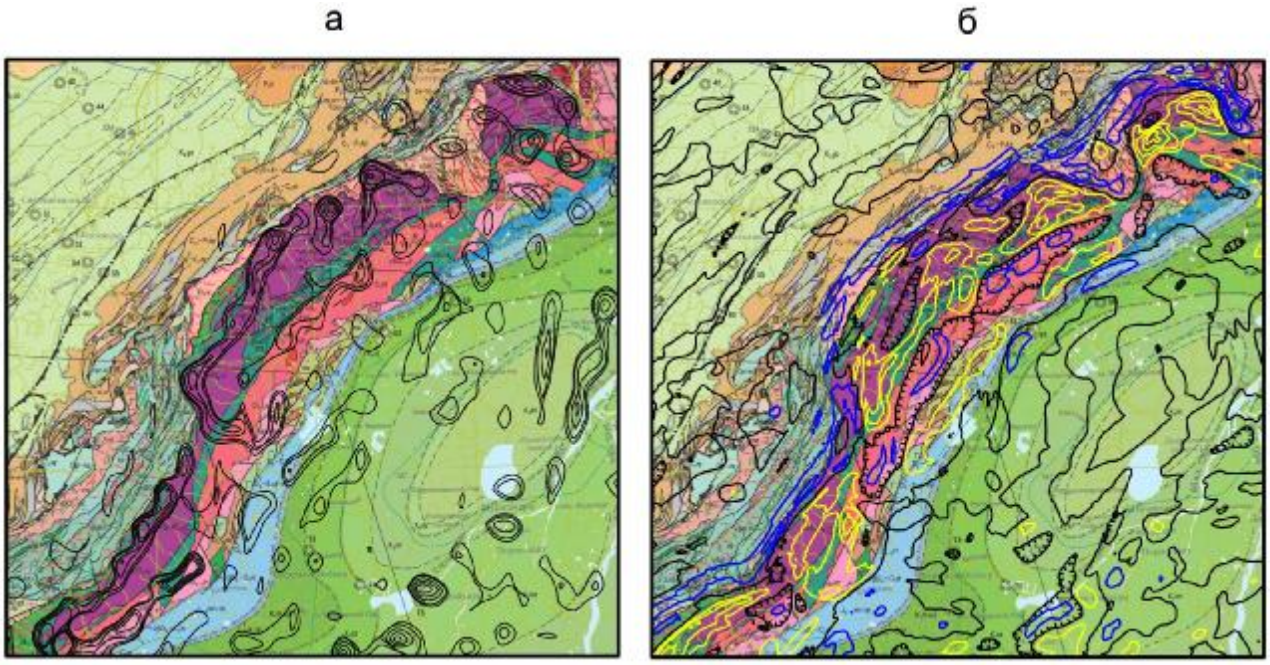

Рис. 2. Фрагмент геологической карты Полярного Урала и локальные аномалии:
а – магнитного поля: б – гравитационного поля.
Изолинии магнитных положительных аномалий построены через 50 нТл и показаны черным цветом. Изолинии гравитационных аномалий построены через 3 мГал и показаны цветами: положительные – желтым, отрицательные – синим, нулевая – черным; у замкнутых нулевых изолиний штрихи нанесены со стороны отрицательных аномалий

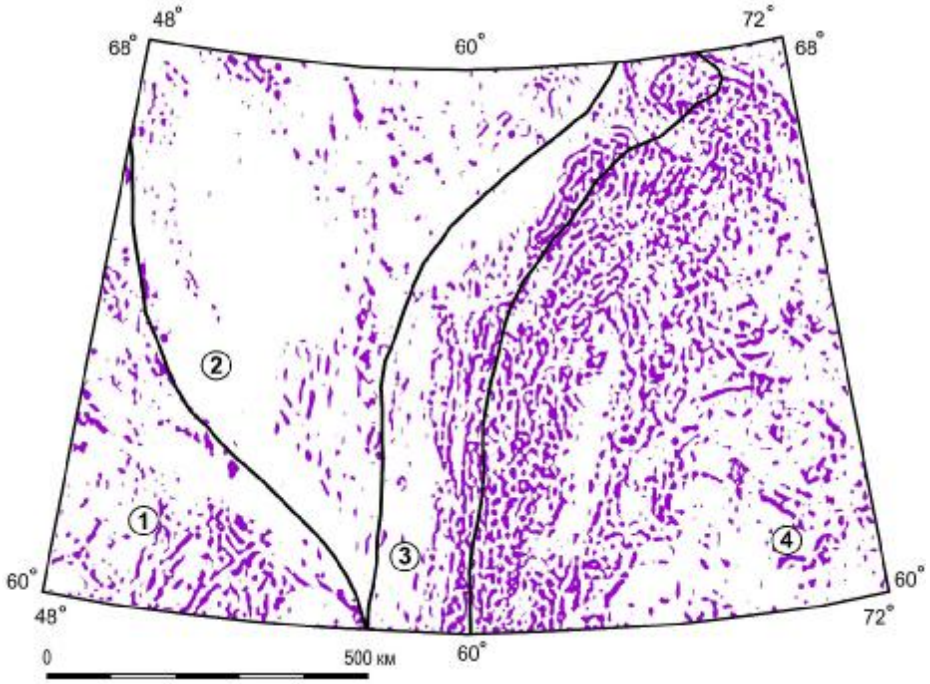

Рис. 3. Прогнозная карта базит-ультрабазитовых массивов, расположенных под осадочными породами в верхней части фундамента до глубины 5 км на территории приполярного сектора Евразии. Тектонические структуры: 1 – Восточно-Европейская платформа, 2 – Тимано-Печорская плита, 3 – Уральская складчатая система, 4 – Западно-Сибирская плита