

ГЛУБИННОЕ СТРОЕНИЕ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ СЕВЕРО-АЗИАТСКОГО КРАТОНА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ ГЕОПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ПОЛЕЙ

© 2014 г. Ю. Ф. Малышев, Ю. Ф. Манилов, В. А. Гурьянов

*Институт тектоники и геофизики ДВО РАН
680000, г. Хабаровск, ул. Ким Ю Чена, 65
E-mail: Ymanilov@itig.as.khb.ru*

Поступила в редакцию 14.06.2013 г.

Выполненные исследования позволили уточнить тектонику региона. Установлено два типа характеристик литосферы Сибирской платформы по гравиметрическим данным. Первый тип представлен региональными минимумами Алдано-Станового и Анабарского щитов. Породы фундамента выходят на дневную поверхность. Второй тип фиксируется региональными максимумами, к нему относится Центральнаякутский максимум. Фундамент его перекрыт осадочным чехлом мощностью до 3 км. По результатам плотностного моделирования в приповерхностном слое фундамента выделены базит-гипербазитовые объекты, которые имеют связь с мантией по наклонным разломам. Элементы металлогении включают рудные районы, рудные зоны, расслоенные базит-гипербазитовые абиссолиты, щелочно-ультраосновные и нефелин-сиенитовые комплексы.

Ключевые слова: *платформа, щит, Северо-Азиатский кратон, гравитационные и магнитные аномалии, рудные районы.*

ВВЕДЕНИЕ

Территория исследований охватывает юго-восточную часть Северо-Азиатского кратона, который состоит из Сибирской платформы, опущенных окраинных складчато-надвиговых поясов и Охотского микроконтинента [10] (рис. 1). Основное внимание уделено строению фундамента платформы, включающего область земной коры и верхней мантии. Наибольший интерес представляют региональные гравитационные и магнитные аномалии: крупные максимумы и минимумы, достигающие 200–300 км в поперечнике. Они могут иметь продолжение в прилегающей акватории Охотского моря [12].

На мелкомасштабных гравиметрических картах 1 : 2 500 000 на Сибирской платформе выделяется два крупных минимума силы тяжести, охватывающих, соответственно, большую часть Алдано-Станового и Анабарского щитов. Геологическая природа этих аномалий связана с метаморфическими (гранито-гнейсы) и ультраметаморфическими (анортозиты, чарнокиты, тоналиты, гранит-зеленокаменные породы) гранитоидами раннего докембрия [1, 2, 5, 11, 13]. Из наложенных структур отмечается высокая роль мезозойского магматизма и мезозойских впадин, часто имеющих коромантийную природу.

Усилиями якутских геологов, выполнивших площадные гравиметрические съемки среднего

масштаба на Сибирской платформе и интерпретацию их результатов [8], выделены крупные гравиметрические максимумы. Источником аномалий являются породы фундамента, сложенные расслоенными базит-гипербазитовыми и щелочно-ультраосновными интрузиями. Они располагаются в поднятиях фундамента более древнего возраста, по сравнению с окружающими их докембрийскими комплексами. Наиболее крупному из них – Центральнойкутскому гравитационному максимуму под осадочным чехлом соответствует предположительно размещение расслоенных рудоносных базит-гипербазитовых абиссолитов [8].

Задачи исследований включают количественные преобразования и геологическую интерпретацию гравитационных и магнитных аномалий, построение геофизических и геодинамических моделей региона.

ИСХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Полученная информация о глубинном строении изучаемой территории – результат использования апробированной ранее методики [7] комплексного анализа геофизических и геологических материалов с применением ГИС-технологий и специализированных пакетов обработки данных.

Для юго-западной континентальной окраины Охотского моря проведена качественная и коли-

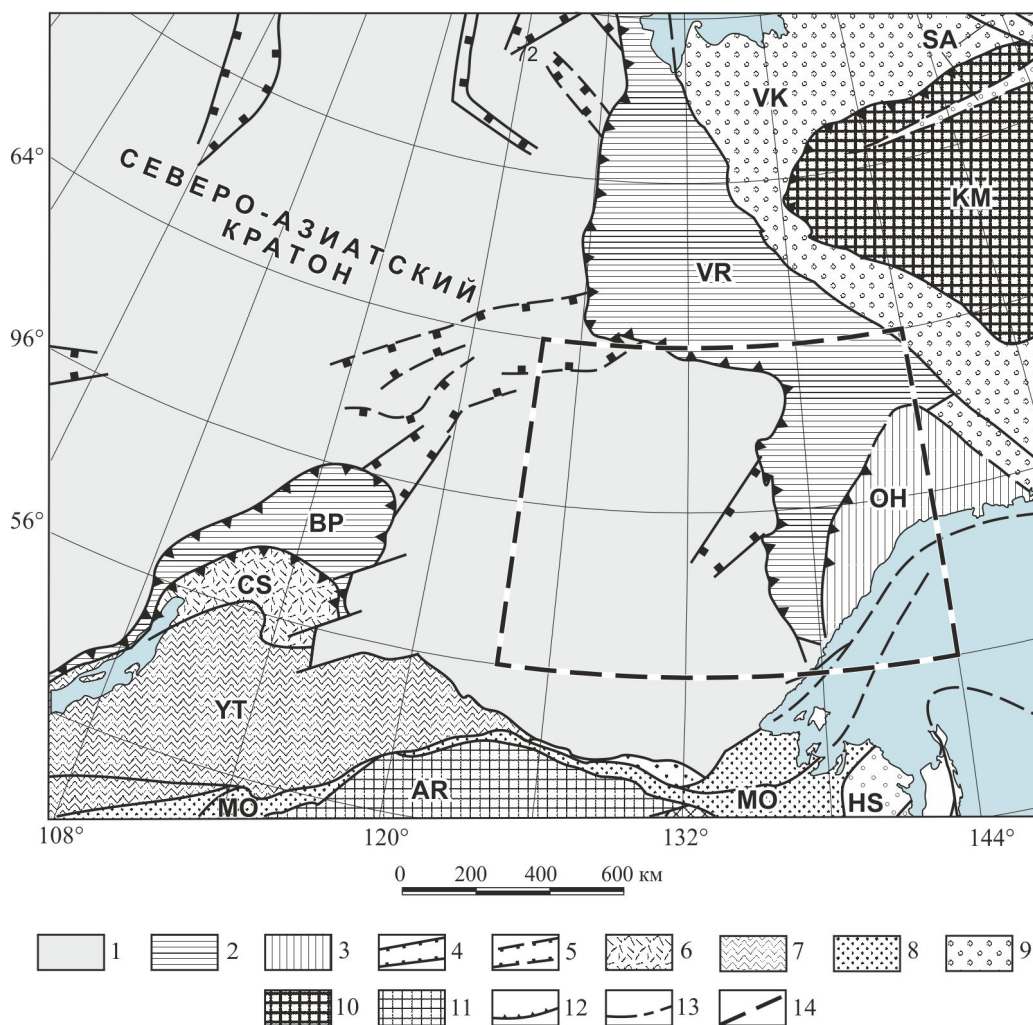


Рис. 1. Карта восточной части Северо-Азиатского кратона и смежных орогенных поясов (составил Л.М. Парфенов [10]).

Фрагменты кратона: 1 – древняя платформа; 2 – опущенная окраина кратона – складчато-надвиговые пояса: BP – Байкало-Патомский, VR – Верхоянский; 3 – ОН – Охотский микроконтинент; 4–5 – авлакогены: 4 – рифейские, 5 – девонские; 6–9 – орогенные пояса: 6 – Циркум-Сибирский (CS) позднерифейский (750–650 млн. лет), 7 – Енисей-Забайкальский (YU) позднекембрийско-раннеордовикский (500–460 млн. лет), 8 – Монголо-Охотский (MO) позднепалеозойско-раннемезозойский (290–140 млн. лет), 9 – Верхояно-Колымский (VK) среднемезозойский (145–100 млн. лет), Южно-Анжуйский (SA) и Хонсю-Сихотэалинский (HS) позднеюрско-раннемеловые (120–95 млн. лет); 10 – КМ – Колымский массив; 11 – АР – Аргунский супертеррейн; 12 – надвиги; 13 – разломы; 14 – границы изучаемой территории.

чественная интерпретация информации аномальных гравитационного и магнитного полей. Основным инструментом обработки данных геопотенциальных полей являлась компьютерная технология “КОСКАД 3D”, предназначенная для обработки трехмерной цифровой геоинформации методами вероятностно-статистического анализа [9]. Функциональное наполнение комплекса “КОСКАД 3D” дало возможность на современном уровне провести спектрально-корреляционный и статистический анализ геолого-геофизических данных, выполнить 2D- и 3D-моделирование.

Широко использованные в комплексе линейные оптимальные фильтры позволяют представ-

вить исходное гравитационное поле набором составляющих с последовательным уменьшением доли низких частот. В настоящей работе для разделения поля на составляющие использовалось “осреднение в окне”. Радиус осреднения подбирался, исходя из латеральных размеров гравитирующих источников поля.

В процессе изучения рассмотрены плотностные неоднородности на разных уровнях земной коры и литосферной мантии, изучены структурные особенности поверхностей раздела различных уровней.

Рассчитаны 3 типа объемных моделей гравитационного поля до глубины 90 км: 1) 3D распределение низкочастотных характеристик, 2) 3D распре-

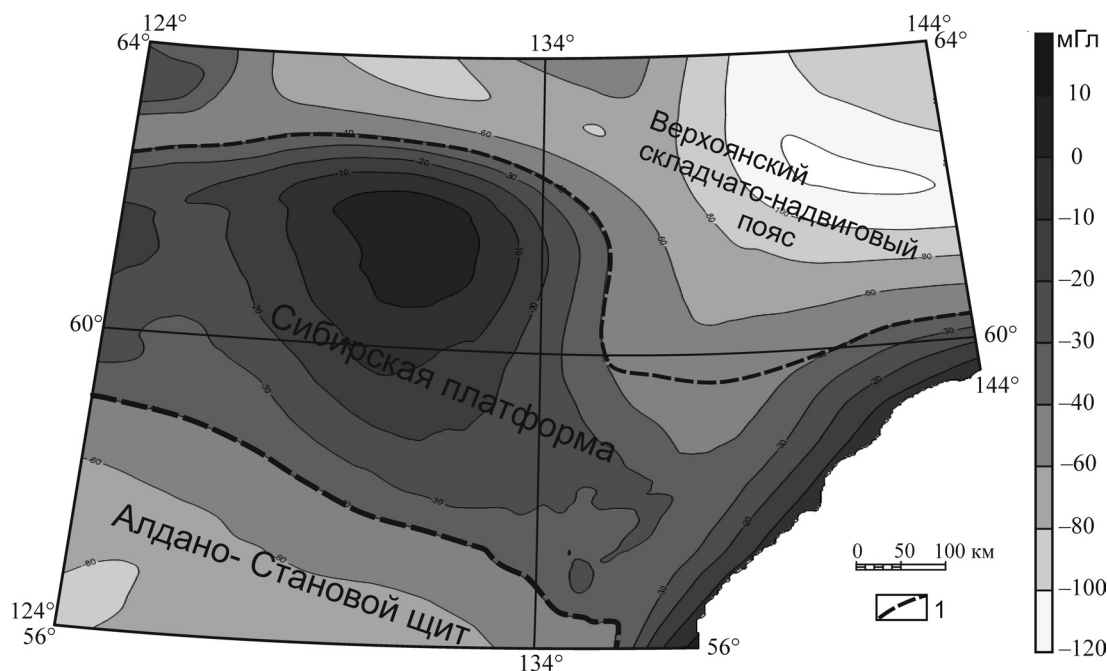


Рис. 2. Карта низкочастотной составляющей аномального поля Δg ($R_{\text{ср.}} = 24$ км) (составил Ю.Ф. Манилов).

1 – граница Сибирской платформы.

деление высокочастотных характеристик, 3) плотностные 3D модели.

В результате дальнейшей обработки полученной плотностной модели были рассчитаны разрезы и срезы литосферы и составляющих поля силы тяжести до глубины 90 км. Информация о распределении поля на разных уровнях литосферы позволяет выявить особенности строения и развития изучаемой территории. Срезы литосферы разных уровней при сравнении друг с другом имеют как различия, так и сходства. При этом обнаруживается частичная унаследованность и прослеживаемость свойств разных уровней.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Региональная составляющая гравитационного поля (рис. 2) – результат осреднения ($R_{\text{ср.}} = 24$ км) аномального поля силы тяжести, в редукции Буге ($\sigma = 2.67$ г/см³). В региональном поле силы тяжести выделяется крупный максимум, соответствующий фундаменту платформы, перекрытому осадочным чехлом. Геологическую природу максимума подтверждает и рассчитанная плотностная модель, показывающая, что корни фундамента уходят в литосферную мантию на глубину более 90 км. На полученных из рассчитанной модели разрезах повышенной плотностью уверенно фиксируются расслоенные базит-гипербазитовые массивы [8]. На них четко выделяются поднятия фундамента, в вершинах которых отмечаются плот-

ностные максимумы. Локальным минимумам в пределах массивов соответствуют гранитные интрузии мезозойского возраста.

Подобная картина для регионального гравитационного поля и соответствующей ей структуре плотностной модели прослеживается на юго-восток почти до берега Охотского моря, где она фиксирует фундамент наложенных мезозойских структур, аналогичный по интенсивности фундаменту Сибирской платформы. Это является основанием для предположения, что Охотский массив не является микроконтинентом и входит в состав Сибирской платформы.

Кроме региональных гравитационных максимумов на рассматриваемом уровне выделяются региональные минимумы. Один из них отвечает Алдано-Становому щиту и связан главным образом с гранито-гнейсами и, в меньшей степени, – с ультраметаморфическими гранитоидами (анортозитами, чарнокитами, тоналитами, гранит-зеленокаменными комплексами). Первичными источниками аномалий, наряду с перечисленными гранитоидами, являются метаморфические комплексы фундамента платформы базит-гипербазитового и щелочно-ультраосновного состава, обеспечивающие региональный гравитационный максимум. Степень метаморфизма не служит критерием возраста, как считалось ранее, когда наиболее древние породы относились к образованиям гранулитовой фации [2, 13]. В свете современных данных, к таковым могут относиться метаморфические ком-

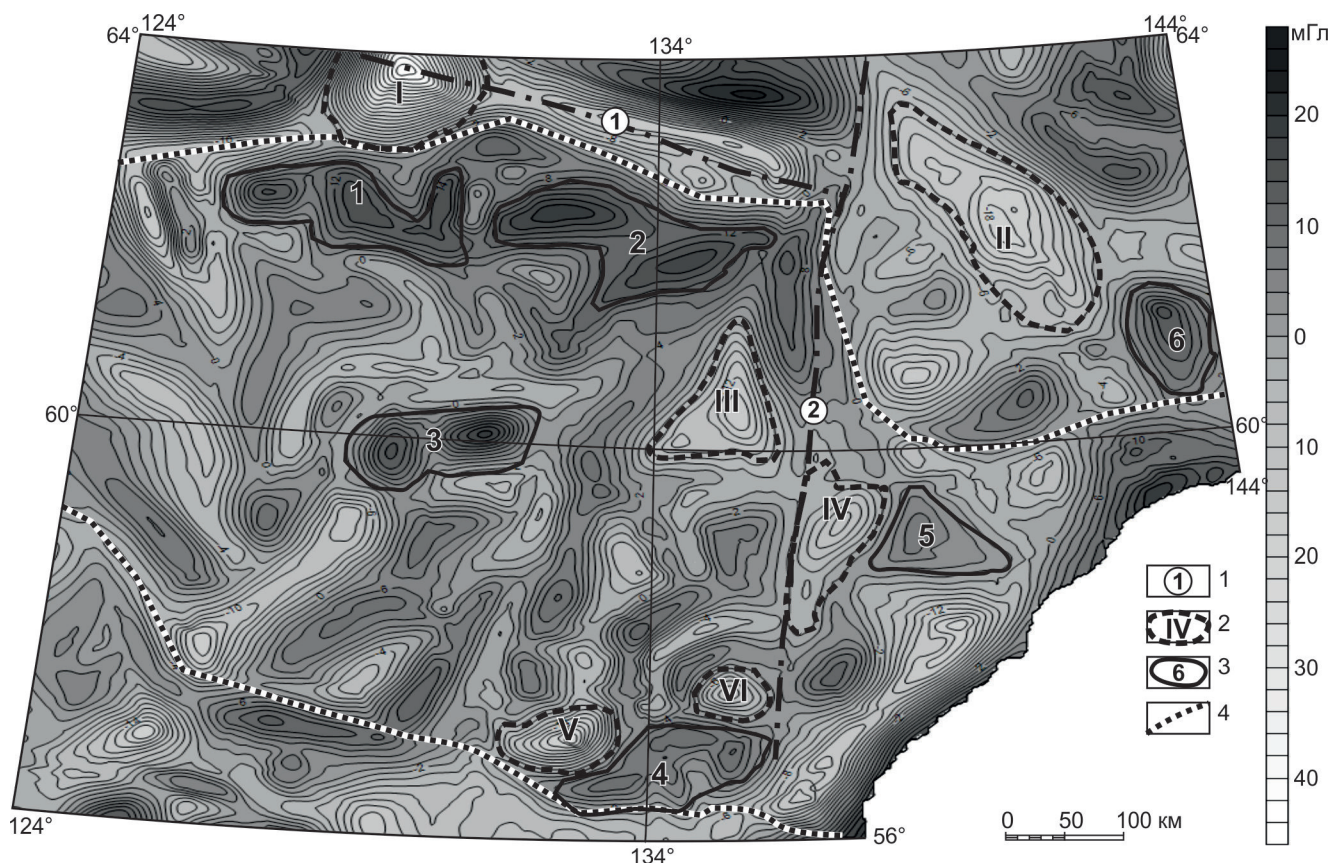


Рис. 3. Карта высокочастотной составляющей аномального поля Δg ($R = 0-24$ км) (составил Ю.Ф. Манилов).

1 – Системы разломов (цифры в кружочках): 1 – Предверхоанская, 2 – Сетте-Дабанская; 2–3 – аномалии: 2 – отрицательные: I – Виллюйская, II – Куйдусунская, III – Джуян-Кербинская, IV – Сарданская, V – Учурская, VI – Майская; 3 – положительные: 1 – Хатынг-Юряхская, 2 – Нижнеалданская, 3 – Биелеминско-Мильская, 4 – Улканская, 5 – Верхнемайская, 6 – Кухтуйская; 4 – границы Сибирской платформы.

плексы амфиболитовой и зеленосланцевой фаций (серые гнейсы, древние зеленокаменные образования) [1]. По мнению Б.Я. Хоревой [13], к архейскому этапу не применим принцип актуализма. Архейские метаморфические и мигматит-гранитные комплексы возникли в результате метаморфизма и ультраметаморфизма высоконагретого твердого вещества с последующим охлаждением. Более того Б.Я. Хорева приписывает гранитоидным комплексам геодинамическую роль вывода на поверхность Алдано-Станового щита и пород фундамента, вследствие их пониженной плотности. Для сравнения, на Анабарском щите маганский и хапчанский архейские комплексы имеют в своем составе гранитоидные образования (чарнокиты, гранито-гнейсы), которые отмечаются гравитационными минимумами [2].

Распределение высокочастотных гравитационных аномалий получено путем разностных процедур гравитационного поля разных уровней. На этих картах (рис. 3) по структуре поля хорошо выделяются границы приповерхностной части Северо-Азиатского кратона. Для всех высо-

кочастотных составляющих четко выделяются две системы разломов: Сетте-Дабанская субмеридионального простирания и Предверхоанская – северо-западного. Первая включает известные геологам Нелькано-Кыллахский, Бурхалинский и Сарданахский глубинные разломы, отделяющие наложенные структуры Верхоянской складчатости от Сибирской платформы. Вторая система разломов фиксируется только на картах локальных гравитационных аномалий. Она пересекает южную часть Предверхоанского прогиба и прослеживается на юго-восток в структурах Верхоянья. Посредством карт высокочастотных составляющих возможно идентифицировать тектонические объекты, соответствующие крупным локальным аномалиям и в значительной степени перекрытые осадочным чехлом. Большинству положительных аномалий, таких как Хатынг-Юряхская, Биелеминско-Мильская, Улканская, Верхнемайская, Кухтуйская, соответствуют выступы и блоки докембрийского фундамента одноименного названия. Для Нижнеалданской аномалии такое соответствие проследить сложно, так как она прак-

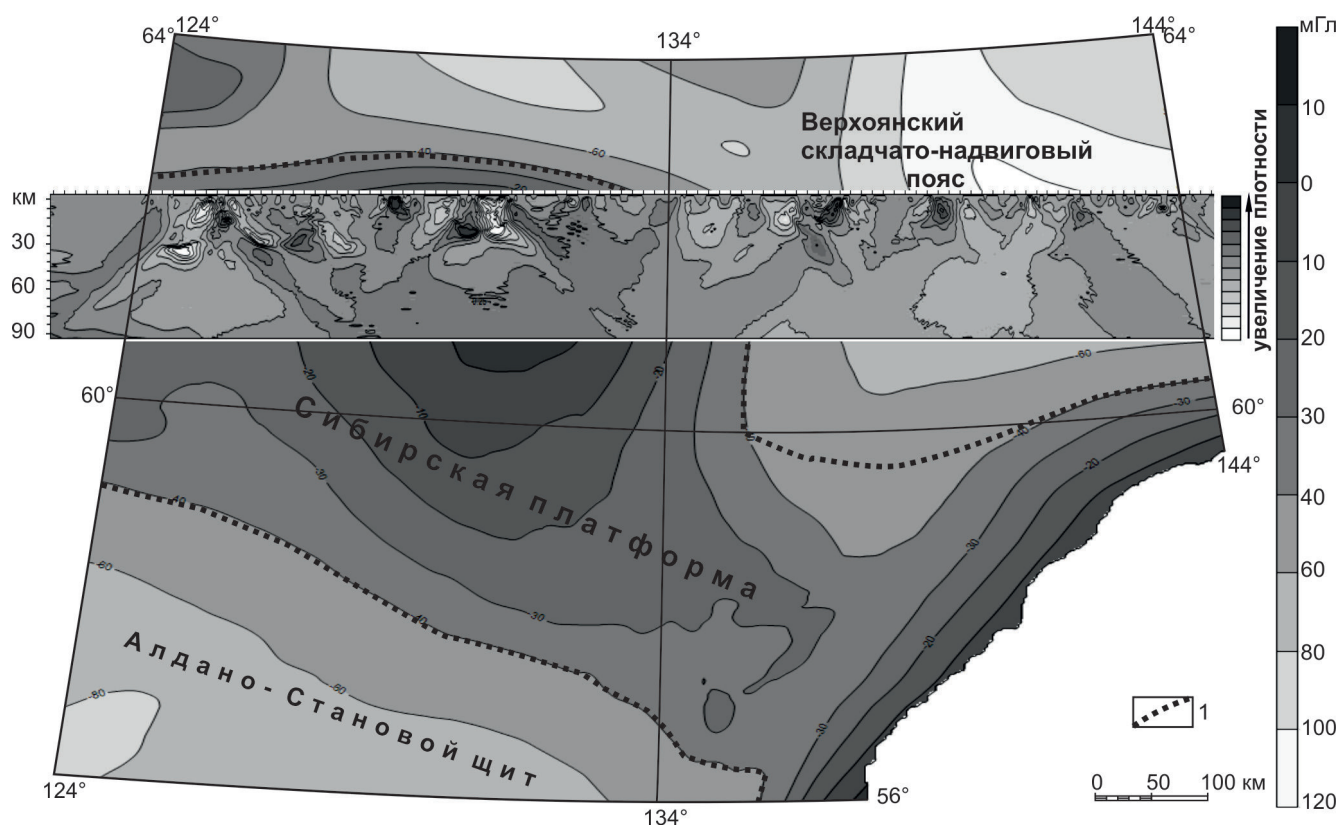


Рис. 4. Плотностной разрез литосферы ($H = 90$ км) на фоне низкочастотной составляющей аномального поля Δg ($R_{\text{оср.}} = 24$ км) (составил Ю.Ф. Манилов).

1 – граница Сибирской платформы.

тически полностью перекрыта осадками Нижнеалданской депрессии. Крупным отрицательным аномалиям, как правило, отвечают очаги развития интрузивного гранитоидного магматизма, а они важны для металлогении региона. Ряд отрицательных локальных аномалий совпадает с крупными рудными районами золотой, редкометальной, редкоземельной и урановой минерализации. Возможные перспективы рудоносности выделяемых объектов отражены на прогнозных картах [4]. Среди наиболее перспективных аномальных территорий: Куйдусунская, Джукай-Кербинская, Сарданинская, Учурская, Майская. Правильной кольцевой формой выделяется Вилуйская аномалия в контурах Вилуйской синеклизы.

Наиболее сложно и неоднородно в геофизических аномалиях проявлен Улканский рудный район, расположенный в центральной части позднепалеопротерозойского (1.77–1.70 млрд. лет) Улканского рифтогенного прогиба [3]. В пределах рудного района фиксируются геофизические аномалии различной интенсивности и направленности. Наибольшая площадь расположена в области влияния субширотного Улканского гравитационного максимума, на северо-западе и северо-востоке его обрамляют Учурский и Майский локальные минимумы. Сле-

дует отметить, что Улканский рудный район один из наиболее перспективных рудных районов Восточной Сибири и Дальнего Востока.

Физические свойства горных пород улканского комплекса находятся в широком диапазоне значений плотности от 2.50 до 2.84 г/см³. Повышенными значениями обладают не только габброиды, но также сиениты, монцитониты от 2.67 до 2.74 г/см³ [3]. Выявлено более 140 проявлений различных металлов: Be, Nb, Ta, U, Zr, TR, Th, Li, Au, Ag, Mo, Sn, W, P. Они компактно располагаются внутри и на периферии Улканского щелочно-лейкогранитного массива. В металлогеническом плане массив представляет собой уникальный рудный район с редкометальной и редкоземельной минерализацией, а также U и Au. Предварительно оценено более 30 рудных объектов, отвечающих крупным, средним и мелким месторождениям. Прогнозные ресурсы (в тыс. т): U = 534, Nb₂O₅ = 710, Ta₂O₅ = 37, BeO = 431, ZrO₂ = 160, LiO₂ = 0.165, TR = 4184, Th = 13, Mo = 267, Au = 178, Ag = 493. Высокие концентрации Ta (0.012–0.047), Be (0.1–0.8), Ce (0.1–0.28%), Zn и Sn установлены в берtrandит-кварц-карбонатных и карбонат-кварц-магнетит-гентгельвиновых жилах. По ресурсам урана ведущее место принадлежит эйситам, аргиллизитам и берези-

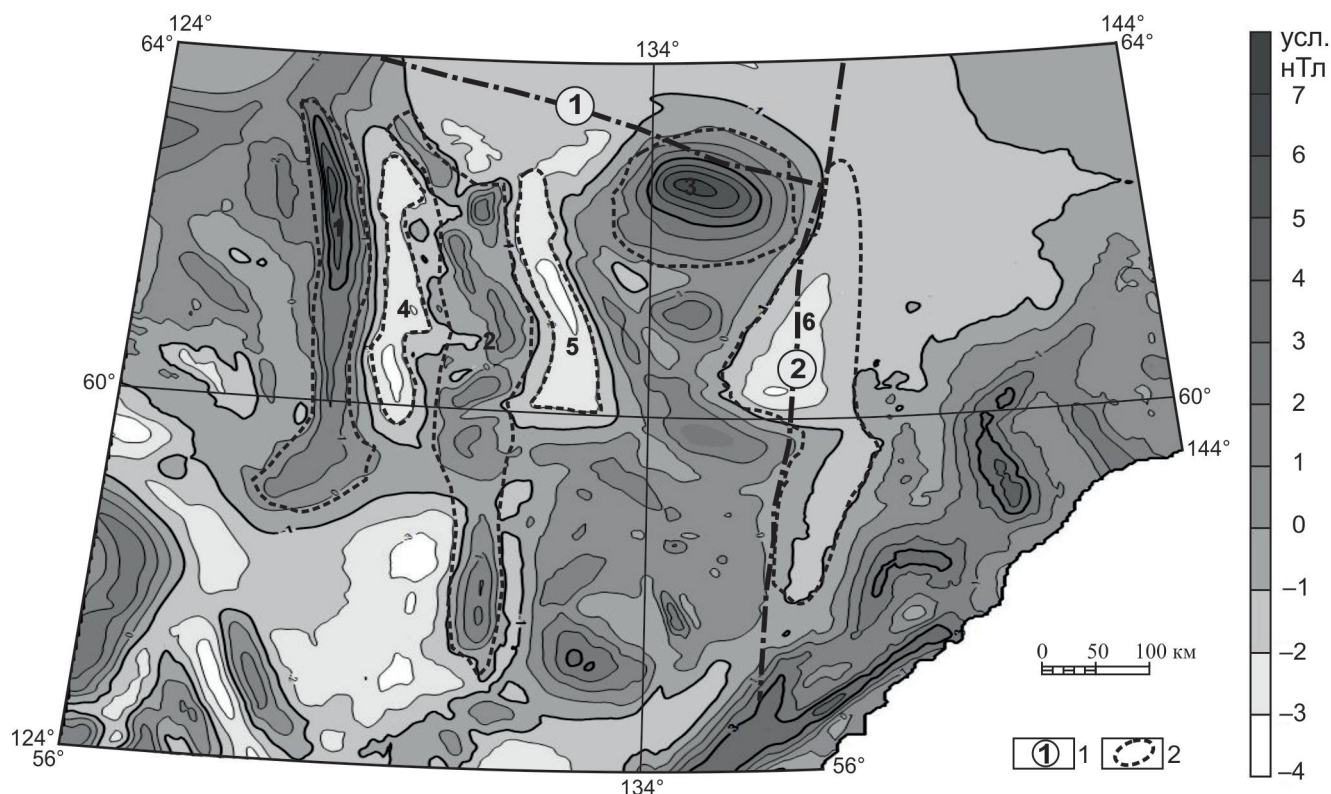


Рис. 5. Карта низкочастотной составляющей аномального поля ΔT ($R_{\text{ср}} = 15$ км) (составили Ю.Ф. Манилов, Ю.Ф. Малышев).

1 – системы разломов (цифры в кружочках): 1 – Предверхо́йская, 2 – Сетте-Дабанская; 2 – региональные аномалии: 1 – Кетеминская, 2 – Великая дайка Якутии, 3 – Хандыгская, 4 – Иджеская, 5 – Борогунская, 6 – Юдомо-Майская.

там зон несогласия в докембрии. Повышенные содержания **Au** отмечаются на большинстве редкометалльных и редкоземельных объектов. Установлена платиноносность щелочногранитных пегматитов и щелочных гидротермалитов – от 0.18 до 1.13 г/т Pt. Рудные объекты Улканского района располагаются в области распространения внутриплитного щелочного магматизма, что является признаком плюмовой тектоники. Но локальной глубинной проявленности, такой как в Бомнакском плюме здесь не устанавливается, хотя мощность литосферы сокращена до 80–100 км. Возможно это связано с положением рудного района в Улкано-Биякчанском аномальном литосферном поясе [6] или с магматической активизацией в мезозое [3].

Интересные результаты получены при построении плотностных разрезов литосферы, пересекающих упомянутый выше Центральнаякутский гравитационный максимум (рис. 4). На разрезе четко видно, что в приповерхностном слое фундамента сосредоточены локальные гравитационные максимумы. По наблюдениям в скважинах и на поверхности они отвечают телам базитов, ультрабазитов и щелочных-ультраосновных комплексов. Устанавливается предположительно геодинамическая составляющая в распределении этих тел. На глубине

30–50 км они поддерживаются массами с относительно пониженной плотностью с дефицитом 0.3–0.4 г/см³. Четко выражена и структура этих масс, ограниченных наклонными разломами, уходящими в мантию. Не исключено, что тела ультрабазитов вынесены из мантии к поверхности.

Магнитное поле рассматриваемого региона характеризуется присутствием крупных полосовых субмеридиональных аномалий (рис. 5). Положительные аномалии, такие как Кетеминская и Великая дайка Якутии отвечают расслоенным базит-гипербазитовым массивам, которые в гравитационном поле диагностируются слабее. Полосовые отрицательные аномалии соответствуют рифтогенным прогибам: Борогунскому и Юдомо-Майскому. Наиболее интенсивная положительная магнитная аномалия региона расположена над Хандыгским расслоенным нефелин-сиенитовым массивом. Хандыгский магнитный максимум имеет четко выраженную кольцевую форму и находится в области пересечения двух разломных зон: субмеридиональной Сетте-Дабанской и северо-западной Предверхо́йской.

В зоне структурного влияния Великой дайки Якутии (гомолога Великой дайки Родезии) выделено около двух десятков малых кольцевых щелочно-

ультраосновных тел [8], щелочных и щелочноземельных руд, иногда с месторождениями урана (Арбарах). Хандыгский и Толонский массивы перспективны на выявление месторождений тантал-ниобиевых руд и руд редкоземельных металлов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлены два типа моделей литосферы фундамента Сибирской платформы по гравиметрическим данным. Первый тип характеризуется региональными минимумами. К нему относится Алдано-Становой щит на рассматриваемой территории востока Северо-Азиатского кратона, а за пределами региона – большая часть Анабарского щита. Породы фундамента этих объектов выходят на дневную поверхность. Второй тип фиксируется региональными максимумами силы тяжести и на рассматриваемой площади представлен Центральнокутским максимумом. Породы фундамента перекрыты осадочным чехлом и, по расчетам и скважинам, располагаются на глубине до 3 км. Элементы металлогении включают расслоенные базит-гипербазитовые абиссолиты и щелочно-ультраосновные и нефелин-сиенитовые комплексы.

По результатам плотностного моделирования базит-гипербазитовые комплексы находятся в приповерхностном слое фундамента в виде локальных максимумов. На глубине 30–50 км они сменяются массами с относительно пониженной плотностью, с дефицитом 0.3–0.4 г/см³. Не исключено, что тела ультрабазитов вынесены из мантии по наклонным разломам либо являются останцами в фундаменте.

Ряду локальных аномалий соответствуют крупные рудные районы (Куйдусунский, Джукян-Кербинский, Сарданинский, Учуро-Майский, Улканский) преимущественно с золотой, редкометальной, редкоземельной и урановой минерализацией.

Работа выполнена в рамках проекта 12-И-П-27-07 “Геофизическая и геолого-минералогическая оценка ресурсов нетрадиционных и новых типов месторождений редких, редкоземельных металлов и урана Дальнего Востока” программы Президиума РАН № 27.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Борукаев Ч.Б.* Структура докембрия и тектоника плит. Новосибирск: Наука. 1985. 192 с.
2. *Вишневский А.Н.* Метаморфические комплексы Анабарского кристаллического щита. Ленинград: Недра. 1978. 211 с.
3. *Гурьянов В.А.* Геология и металлогения Улканского района (Алдано-Становой щит). Владивосток: Дальнаука. 2007. 228 с.
4. *Иволга Е.Г., Манилов Ю.Ф.* Региональное количественное прогнозирование перспективных на эндогенное оруденение площадей на основе физических полей в пределах юга Дальнего Востока России // Руды и металлы. 2010. № 6. С. 10–21.
5. *Карсаков Л.П., Малышев Ю.Ф.* Модели строения и глубинной эволюции земной коры юго-востока Сибирской платформы // Тектоника Сибири. Новосибирск: Наука. 1983. Т. XI. С. 95–99.
6. *Малышев Ю.Ф., Горошко М.В., Каплун В.Б. и др.* Геофизическая характеристика и металлогения востока Алдано-Станового щита (Дальний Восток) // Тихоокеанская геология. 2012. Т. 31, № 4. С. 3–16.
7. *Манилов Ю.Ф.* Особенности глубинного строения юго-восточной части Аргуно-Мамынского массива (по геофизическим данным) // Тихоокеанская геология. 2010. Т. 29, № 6. С. 39–48.
8. *Мишин В.М., Истомин И.Н., Гриненко В.С.* Новая рудоносная провинция на востоке Сибирской платформы // Вестник Госкомгеологии РС (Я). 2002. № 1. С. 6–14.
9. *Никитин А.А., Петров А.В.* Теоретические основы обработки геофизической информации. М.: Центр информационных технологий в природопользовании, 2010. 114 с.
10. *Парфенов Л.М., Берзин Н.А., Ханчук А.И. и др.* Модель формирования орогенных поясов Центральной и Северо-Восточной Азии // Тихоокеанская геология. 2003. Т. 22, № 6. С. 7–41.
11. *Розен О.М., Манаков Л.В., Зинчук Н.Н.* Сибирский кратон: формирование, алмазоносность. М.: Научный мир, 2006. 210 с.
12. *Стогний Г.А.* Глубинное строение и рудоконтролирующие структуры Алдано-Становой и Верхояно-Черской золотоносных провинций. Автореф. дис. ... д-ра геол.-мин. наук. Краснодар: Кубанский госуниверситет, 2011. 40 с.
13. *Хорева Б.Я.* Критерии расчленения и генезис метаморфических и гранитоидных ультраметаморфических комплексов. Ленинград: Недра, 1978. 214 с.

Рецензент В.М. Нечехухин

Deep structure of the eastern North Asian Craton from results of geopotential field data interpretation

Yu. F. Malyshev, Yu. F. Manilov, V. A. Gur'yanov

Institute of Tectonics and Geophysics, Far Eastern Branch of RAS

Based on gravity data, two types of characteristics of the lithosphere of Siberian platform have been established. The first type is exhibited by the regional minima of Aldan-Stanovoy and Anabar Shields where the basement rocks are exposed at the surface. The second type is observed as a regional maxima, to which the Central Yakutia maximum is referred. Its basement is overlain by the sedimentary cover up to 3 km thickness. Based on the results of density modeling, basite-hyperbasite objects are distinguished in the subsurface basement layer that are linked to the mantle by the inclined faults. The elements of metallogeny include ore districts, ore zones, layered basite-hyperbasite abissolites, alkaline-ultrabasic and nepheline-syenite complexes.

Key words: platform, shield, North Asian Craton, gravity and magnetic anomalies, ore districts.