



УДК 550.831(517)

DOI <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2020.31.85>

## Форма и размеры Горихинского гранитного массива (Монголия)

Е. Х. Турутанов

*Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия*

Б. Буянтогтох, Б. Тэнгис

*Центр астрономии и геофизики МАН, г. Улан-Батор, Монголия  
Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия*

**Аннотация.** Горихинский гранитный массив расположен в краевой части Хэнтэйского нагорья Монголо-Забайкальской складчатой системы Центральной Монголии. С границами массива связаны месторождения хрусталя и многочисленные рудопроявления других полезных ископаемых. Эти данные послужили основанием для постановки площадных гравиметрических работ по определению особенностей его геологического строения с целью уточнения металлогенической специализации. Работы выполнены с помощью гравиметров Scintrex Autograv CG-5 по стандартной методике. Высоты пунктов наблюдения определялись приборами Trimble 5700 GPS. Среднеквадратическая точность вычисления гравитационных аномалий и густота сети наблюдений отвечают техническим требованиям, предъявляемым к гравиметрическим съемкам масштаба 1:100 000. По результатам площадной гравиметрической съемки среднего масштаба, выполненной на территории Горихинского гранитного массива, получена карта аномалий силы тяжести в редукции Буге. На основе интерпретации этих данных построена объемная модель массива.

**Ключевые слова:** аномалия силы тяжести, гранитный массив, форма, размеры.

**Для цитирования:** Турутанов Е. Х., Буянтогтох Б., Тэнгис Б. Форма и размеры Горихинского гранитного массива (Монголия) // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2020. Т. 31. С. 85–101. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2020.31.85>

### Введение

Рудоносные гранитные массивы мезозойского возраста пользуются широким развитием в пределах Восточной Монголии, в частности на площади центральной части Хэнтэйского нагорья. Формирование интрузивных ореолов происходило на этой территории в два этапа – раннемезозойский (с триаса до средней юры) и позднемезозойский (верхняя юра – нижний мел).

На севере Восточной Монголии выделяются две главные зоны раннемезозойского магматизма: центральная с известково-щелочным магматизмом и обрамляющая ее зона с магматизмом повышенной щелочности. Зона известково-щелочного магматизма практически совпадает с Хэнтэйским поднятием. В западной ее части развиты гипабиссальные и малоглубинные гранитоидные интрузии, типичным представителем которых является Гори-

хинский массив резко-порфировидных гранитов, расположенный на юго-западном склоне Хэнтэйского нагорья, на правобережье р. Толы.

Изучение морфологии интрузивных образований является актуальным направлением современной магматической геологии. Сведения о форме и размерах интрузивных тел дополняют информацию, используемую при разработке представлений об их становлении.

Особое значение имеет знание формы и размеров интрузивных тел для поисков и разведки полезных ископаемых. С кислыми послескладчатыми гранитами генетически и пространственно связана подавляющая часть месторождений и рудопроявления вольфрама, олова и других редких металлов [Healey, Miller, 1963; Oclsner, 1963; Biechler, Bonini, 1966; Eggler, 1967; Bankwits, 1975]. Месторождения первых двух элементов локализуются преимущественно в экзоконтактных зонах над кровлей мезозойских гранитных массивов. Другие редкие металлы образуют промышленные скопления в эндоконтактных зонах апикальных частей интрузивов. Такое распределение минерализации, естественно, вызывает интерес к морфологии кровли гранитных plutонов, поскольку особенности ее поведения на глубине невозможно установить без знания морфологии интрузива. При выполнении подобных исследований устанавливаются крайне необходимые сведения для ориентировки поисковых работ в районах, где рудоносные граниты слабо вскрыты на уровне современного денудационного среза [Турутанов, 2012].

При изучении морфологии гранитных интрузий целесообразно использовать гравиметрический метод исследований, который дает возможность в ряде случаев определить форму и размеры plutонов со степенью приближения, достаточной для общих теоретических разработок и для ориентировки поисковых работ. Этот метод позволяет получить сведения о морфологии интрузивных образований наиболее дешевым и эффективным способом. До настоящего времени исследования глубинного строения интрузивных образований геофизическими методами, в частности гравиметрическим, судя по публикациям в мировой печати, являются крайне малочисленными [Rowston, 1965; Lind, 1967; Stephanson, Johnson, 1976; Fairhead, Walker, 1977; Pitcher, 1978; Nye role of regional ... , 2006; High-resolution gravity ... , 2008; Brown, 2013; Castro, 2014]. В статье рассмотрено геологическое строение Горихинского гранитного массива, полученное в результате интерпретации гравиметрических данных. Особенности строения этого массива представляют интерес не только с научной, но и с практической точки зрения, поскольку с ним связаны месторождения и рудопроявления многих полезных ископаемых.

### **Основные черты геологического строения района Горихинского гранитного массива**

*Древний фундамент* района представлен породами (рис. 1) терригенной формации верхнего рифея – нижнего кембрия, характеризующими нижнепалеозойский структурно-формационный этаж, состоящий главным образом

из осадочно-метаморфических пород карбонового состава (различные сланцы, гравелиты, песчаники с прослоями яшм и туффитов).

Этот комплекс осложнен внедрившимися в мезозое гранитоидными интрузиями. Среднепалеозойские отложения собраны в складки антиклинального типа в основном северо-восточного простирания. Породы падают на северо-запад под углом 50–70°.

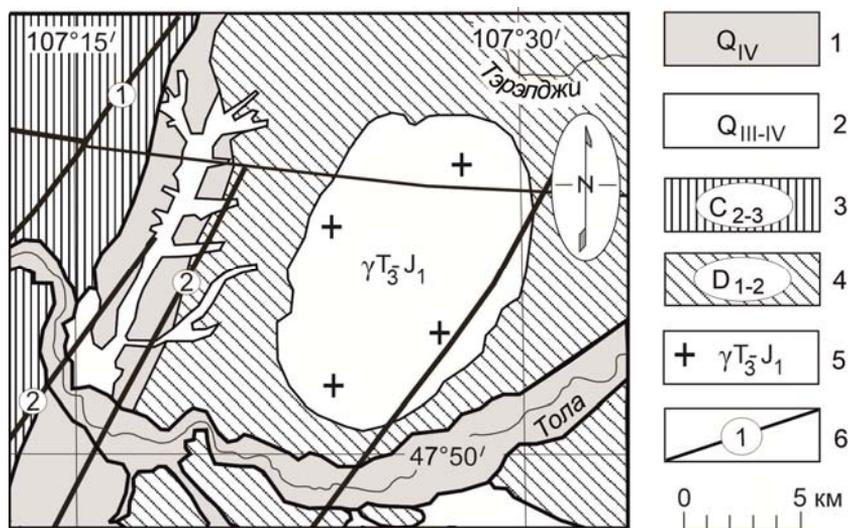


Рис. 1. Геологическая схема района Горихинского гранитного массива (по [Геология Монгольской Народной ... , 1973a], с изменениями).

Четвертичные отложения. 1 – аллювиальные отложения: галька, гравий, песок, супесь, суглинок, глины; 2 – аллювиально-пролювиальные отложения: глыбы, дресва, щебень, галька с суглинисто-супесчаным заполнением, делювиально-пролювиальные отложения; 3 – средний – верхний карбон: разномерные песчаники с прослойками глинистых сланцев, редко гравелиты, конгломераты, алевролиты, гравелиты; 4 – нижний – средний девон. Горихинская свита, нижний горизонт: песчаники с чередующимися прослойками алевролитов и сланцев, алевро-песчаный кварцит, редкие линзы основных эффузивов; 5 – Горихинский гранитный массив поздне триасового – раннеюрского возраста, жанчивланская формация: мелкозернистые гранит-порфиры, кварцевые жилы, среднезернистые граниты, среднезернистые порфировидные светлые граниты с биотитом, роговой обманкой, средне-крупнозернистые порфировидные граниты с биотитом, биотитовой и роговой обманкой, мусковитом; 6 – крупные разломы, установленные по геологическим данным. Цифры (арабские) в кружках – названия разломов: 1 – Хундэйский, 2 – Дэндэйская система глубинных разломов

*Каменноугольные отложения*, которые слагают более половины объема всех горных пород, особенно широко развиты в этом районе (см. рис. 1). Они имеют морское происхождение, представлены в основном песчаниками и алевролитами и нередко характеризуются флишоидным строением. В пределах центральной части Хэнтэйской горной страны каменноугольные отложения подразделяются на две литологически отличные толщи, входящие в состав хэнтэйской серии девонско-каменноугольного возраста. Наиболее низкие горизонты вскрыты по р. Толе и на северных склонах массива

Богдоул. Они представлены темными кремнисто-глинистыми алевролитами и мелкозернистыми песчаниками, ритмично (150–200 м) чередующимися с мощными пачками яшм и туффов. В верхней части разреза нижней толщи присутствуют прослой (до 5 м) яшм, туфов, изредка известняков. Видимая мощность нижней толщи в районе Улаанбаатара колеблется от 400 до 1400 м. К востоку, в окрестностях Улаанбаатара и в междуречье Толы и Трэлджди, мощность верхней толщи составляет 1200–1500 м [Геология Монгольской Народной..., 1973б].

*Меловые отложения* представлены континентальными толщами, залегающими несогласно на палеозойском и раннемезозойском основании. Состав их весьма разнообразен. Среди них широко развиты песчаники, алевролиты, аргиллиты, глинистые и углистые сланцы и известняки, глины, угли, эффузивы основного, среднего и кислого состава. Угли имеют черную или бурую окраску, остальные породы пеструю.

Верхнюю часть разреза Улаанбаатарской впадины слагают глинистые толщи неогена, перекрытые грубозернистыми аллювиальными, аллювиально-пролювиальными и делювиально-пролювиальными четвертичными отложениями.

*Кайнозойский* структурно-формационный этаж представлен красноцветной терригенной формацией континентального типа и терригенной формацией континентального типа четвертичного периода. Нижняя часть третичных отложений состоит из конгломерата в песчано-глинистом слабосцементированном состоянии. Выше конгломератов залегают прослой светло-серых глин с линзами слабосцементированных песчаников и гравийных конгломератов. Кайнозойские отложения слабо дислоцированы и имеют общее падение слоев на юго-восток под небольшими ( $\leq 18^\circ$ ) углами.

*Неогеновые отложения нерасчлененные* выполнены главным образом красными и пестрыми глинами, песками, песчаниками, конгломератами, галечниками, гравелитами, алевритами, обнаруживающими быструю смену состава как в разрезе, так и по простиранию. На более древних образованиях они лежат с размывом и угловым несогласием. Достаточно сильно эти отложения дислоцированы лишь в краевых частях впадин, а на остальной площади имеют горизонтальное залегание и мощность около 350–400 м [Геология Монгольской Народной ... , 1973б].

*Четвертичные отложения* пользуются повсеместным распространением на территории Улаанбаатарского района. Аллювиальные отложения в долине р. Толы в районе г. Улаанбаатара достигают 30 м. В основном же осадочные образования выполнены аллювиально-пролювиальными отложениями, включающими глыбы, дресву, щебень, гальку с суглинисто-супесчаным заполнением, и делювиально-пролювиальными отложениями. К северному борту Тольской впадины приурочены верхнеоген-плиоценовые отложения, представленные красноцветными, иногда желтовато-пестрыми глинами, алевритовой галькой, песками, слабосцементированными брекчиями, конгломератами, гравелитами и суглинками.

*Интрузивные образования* представлены Горихинским гранитным массивом, который имеет зональное внутреннее строение. Породы массива относятся к жанчивланскому комплексу (Т–J) гранит-лейкогранитовой формации с граносиенитами, для которой характерны пегматитовые (кристаллоносные) месторождения. Породы представлены мелкозернистыми гранит-порфирами, кварцевыми жилами, среднезернистыми гранитами, среднезернистыми порфиroidными светлыми гранитами с биотитом, роговой обманкой, средне-крупнозернистыми порфиroidными гранитами с биотитом, биотитовой и роговой обманкой, мусковитом. В краевой части массива обнажаются гранит-порфиры с контактными аплитами и участками гибридных пород. К центру следуют крупнозернистые, слабопорфировые, лейкократовые граниты и гранит-порфиры. Ширина зоны, сложенной гранит-порфирами, не превышает 150–200 м.

### **Структурно-тектоническая позиция, возраст и металлогения Горихинского массива**

Структурный план района в основном был заложен в верхнем палеозое, и в дальнейшем уже континентальные условия способствовали глыбовым перемещениям, расчленяющим палеозойский фундамент. Заложение более крупных разломов, по-видимому, относится к средне-верхнепалеозойскому этапу тектоно-магматической активизации. Преобладание однонаправленного залегания пород и складок свидетельствует о том, что в среднем палеозое ориентировка поля тектонических напряжений если и менялась, то незначительно. Субмеридиональная ориентировка Горихинского гранитного массива в общих чертах совпадает с преобладающим простиранием пород докайнозойского фундамента [Геология Монгольской Народной ... , 1973б].

Вмещающие породы Горихинского гранитного массива представлены горихинской свитой девона. Породы горихинской свиты формируют сравнительно крупную (30×10 км), сложно построенную синклиналь линейной формы. Западное ее крыло образовано моноклиналью, погружающейся на восток под углом 50–70° и осложненной продольным разломом, примыкающим к западному контакту горихинского гранитного массива. Восточное крыло синклинали построено системой узких сопряженных с продольными разрывами линейных синклиналей и антиклиналей с размахом крыльев около 0,5 км и крутизной их падения до 60–80°.

Выходы Горихинского массива имеют в плане овальную форму и вытянуты в северо-восточном направлении на 15 км при ширине до 9 км. Контакт гранитов массива с вмещающими породами – четкий, интрузивный, с небольшими апофизами. Падение контакта – крутое (70–90°) в сторону вмещающих пород.

Горихинский гранитный массив контролируется системой глубинных разломов, крупнейшей из которых является Дэндэйская (см. рис. 1), ограничивающая массив с запада. В нижнем мелу палеозойский фундамент в районе Горихинского массива испытывал общее поднятие, сопровождаемое разломообразованием. Многие разломы, заложенные ранее, были активизи-

рованы. Для рудоносных массивов района исследований глубинные разломы являются контролируемыми структурами, зачастую определяющими форму и размеры последних. Глубинные разломы установлены комплексом геолого-геофизических методов и находят отражение на дневной поверхности в виде смещений молодых кайнозойских отложений и элементов рельефа, ограничений впадин и блоков фундамента. Они подтверждаются геодезическими (данные о контрастных современных подвижках) и геофизическими (гравитационными, электромагнитными, магнитотеллурическими, газовыми, эманиационными и др.) аномалиями, четким проявлением на аэрокосмических снимках [Complex geophysical ... , 2004; Сейсмичность и районирование ... , 2009]. Необходимо отметить, что при формировании находящегося в 30 км от Горихинского Богдоулинского рудоносного гранитного массива огромную роль сыграли глубинные разломы, служившие магмоподводящими каналами. Они же являлись структурами, ограничивающими массив и определяющими его форму при становлении [Там же]. Близкий возраст становления этих массивов и сходные геологические условия позволяют предполагать, что глубинные разломы, окружающие и секущие Горихинский массив, также имеют важное значение в формировании его геометрии. Судя по выявленным зеркалам скольжения и глинкам трения, тектоническая активность проявлялась и в кайнозое. По-видимому, ориентировка сил сжатия в мезозое в целом не отличалась от современной. Радиологический возраст гранитов Горихинского массива определен в 210–220 млн лет, что отвечает второй половине триаса – ранней юре [Геология Монгольской Народной ... , 1973а].

Характер контакта Горихинского массива, его соотношение со структурой вмещающих пород, а также концентрическая зональность фаций интрузивных пород с очень узкой зоной закалки свидетельствуют о принадлежности описываемого массива к группе вертикальных штоков.

Жильная серия пород Горихинского гранитного массива представлена аплитами и пегматитами. Жилы аплитов распространены по всей площади массива, однако наибольшая концентрация их наблюдается в эндоконтактовой и прикраевой зонах последнего. Установлено, что вблизи зон разрывных нарушений появляются более высокотемпературные полевые шпаты с высоким содержанием альбитового минерала.

Пегматитовые тела (в количестве около 2000) распространены крайне неравномерно. В целом они концентрируются в пределах южного (около 80 % от общего количества всех известных здесь пегматитовых тел), центрального (10 %) и северного (до 6 %) участков массива [Геология Монгольской Народной ... , 1973б]. Среди пегматитов характерны линзовидные, штокообразные, жилообразные и шпировидные тела. Размеры их весьма различны и колеблются от 4×4 до 32×23 м, иногда и больше (рис. 4).

Кроме кристаллов дымчатого кварца, мориона, в отдельных пегматитовых телах выявлены флюорит, топаз, биотит, турмалин, берилл, гранат, ортит. В качестве акцессорных минералов присутствуют циртолит, ксенотим, циркон, офен, рутил, апатит, касситерит и др. [Косухин, Бакуненко, Чупин, 1984].

Примерно половина (47,2 % из 516 учтенных) хрусталеносных пегматитов находится в интервале гипсометрических отметок от 1601 до 1700 м, в то время как максимальная отметка их нахождения достигает 2000 м.

Также перспективными являются интервалы высот 1501–1600 и 1701–1800 м, в пределах которых сконцентрирована остальная часть (соответственно 28,3 и 20,5 %) хрусталеносных пегматитов.

В результате многолетних исследований большого числа ученых сформулированы геолого-структурные, петрохимические и геохимические условия формирования хрусталеносных гранитоидов Монголии, к которым относится Горихинский массив. Определено, что становление таких массивов происходило в гипабиссальных условиях в спокойной тектонической обстановке. Материнские для хрусталеносных гранитов магмы характеризуются повышенными кремнекислотностью и щелочностью с преобладанием калия над натрием, высокой железистостью [Косухин, Бакуненко, Чупин, 1984]. Подобные массивы с хрусталеносными пегматитами относятся к палингенным гранитоидам известково-щелочного ряда [Таусон, 1977], с повышенным содержанием литофильных редких элементов (Li, Rb, Be, F). В Горихинском массиве эти элементы в 2 раза превосходят кларковые.

Все имеющиеся к настоящему времени геологические, геофизические, минералогические и геохимические материалы говорят о необходимости специальных исследований, направленных на уточнение перспектив поисков полезных ископаемых на территории Горихинского гранитного массива. Хрусталеносные пегматиты этого массива приурочены к зонам развития провесов кровли или к участкам рельефа кровли массива, которые могли служить «ловушками» для флюидов, отделяющихся от кристаллизующихся магм [Таусон, 1977], поэтому знание особенностей поведения кровли массива на глубине может существенно повысить эффективность поисковых работ. Следовательно, одной из первоочередных задач поиска полезных ископаемых, связанных с Горихинским массивом, можно считать определение его формы и размеров с помощью геофизических, в частности гравиметрических, данных.

### **Выделение аномалий силы тяжести, связанных с гранитными интрузиями**

Для изучения глубинного строения Горихинского гранитного массива использовались гравитационные аномалии в редукции Буге (рис. 2). Получены они в результате обработки материалов крупномасштабной гравиметрической съемки с плотностью наблюдений 1 пункт на 1 км<sup>2</sup>.

Точность определения аномалий Буге составила  $\pm 0,1$  мГал. Работы выполнены с помощью гравиметров Scintrex Autograv CG-5 по стандартной методике. Высоты пунктов наблюдения определялись приборами Trimble 5700 GPS. Среднеквадратическая точность вычисления гравитационных аномалий и густота сети наблюдений отвечают техническим требованиям, предъявляемым к гравиметрическим съемкам масштаба 1:100 000. Поправка за рельеф введена в радиусе 200 км.

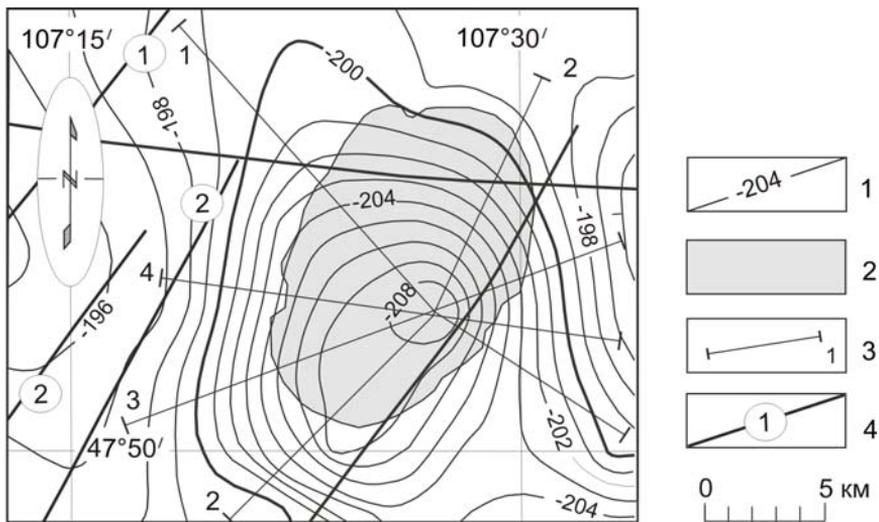


Рис. 2. Схема аномалий Буге Горихинского гранитного массива (сечение изоаномал через 1,0 мГал): 1 – изоаномалы силы тяжести; 2 – гранитоиды Горихинского массива; 3 – интерпретационные профили; 4 – крупные разломы, установленные по геологическим данным. Цифры (арабские) в кружках – названия разломов: 1 – Хундэйский, 2 – Дэндэйская система глубинных разломов

Как правило, массивы кислых интрузивных пород, прорывающие складчатые песчанико-сланцевые толщи, отражаются в гравитационном поле отрицательными локальными аномалиями [Howard, 1982; Campbell, Johnson, 1982; Pitcher, 1978; Ramodass, Ramaprasada, Himabindu, 2006]. Последние иногда близки к изометричным, но чаще являются линейно-вытянутыми, так как интрузивные тела обычно вытянуты вдоль контролирующих их разломов. Отрицательные аномалии сходной интенсивности в рассматриваемых районах наблюдаются также и над позднемезозойскими впадинами, заполненными кластическими континентальными отложениями верхней юры – нижнего мела. Понижения поля силы тяжести могут быть и над крупными синклинальными структурами вмещающих толщ. При определении морфологии гранитных массивов последние два аномалиеобразующих фактора являются мешающими.

Для определения природы отрицательных локальных аномалий необходимо сопоставлять гравитационное поле с геологическими данными. Если денудационный срез глубокий и выходы гранитов соответствуют общей площади кровли плутона или ее значительной части, то изоаномалы гравитационного поля приблизительно согласуются с контурами массива, выявленными в процессе геологического картирования. Но в большинстве случаев денудационный срез неглубокий, и на земной поверхности обнажаются лишь апикальные части небольших по площади выступов кровли плутона. В такой ситуации в пределах общей отрицательной аномалии, соответствующей всему интрузивному телу, выделяются локальные минимумы высокого порядка, совпадающие с выходами гранитов. Установление подобных законо-

мерностей в совокупности с данными денситометрии о пониженной плотности гранитов позволяет однозначно выделять аномалии, связанные с гранитными интрузиями.

### **Методика выделения локальных (остаточных) аномалий силы тяжести, связанных с гранитами Горихинского массива**

При отсутствии дополнительной информации о пространственной форме геологических объектов (мы имеем дело именно с такой ситуацией) количественное разделение полезных аномалий от аномалий-помех, имеющих другую природу, возможно лишь в случае, если аномалии различаются по ширине и горизонтальным градиентам, т. е. по своим спектрам. Минимумы, наблюдаемые над депрессиями, соизмеримы с ними по ширине и целиком расположены в пределах геологических контуров осадков. «Гранитные» аномалии, как правило, часто превосходят по площади выходы гранитных пород. При взаимном наложении таких аномалий разделить их невозможно. Однако совместный анализ гравиметрических и геологических карт показывает, что подобное наложение бывает сравнительно редко. Чаще встречается такая ситуация, когда минимумы, связанные с гранитами, осложнены региональным фоном, который создается особенностями глубинной структуры и плотностными неоднородностями вмещающих пород. Аномалии регионального фона более широки и пологи в сравнении с «гранитными». Поэтому предположение о линейном изменении регионального фона по коротким профилям, секущим интересующие нас гравитационные минимумы поперек их вытянутости, видимо, не вызовет больших погрешностей [Турутанов, 2012]. При интерпретации гравиметрических данных по Горихинскому массиву региональный фон определялся для каждого поперечного профиля отдельно как прямая наклонная линия, асимптотически приближающаяся к пологим участкам графика аномалий силы тяжести, которые наблюдаются на значительном удалении от центральных частей минимумов. Эта прямая линия проводилась как касательная в область максимумов, окружающих исследуемую аномалию (см. рис. 2). Значение локальной аномалии в каждой точке профиля определялось как вертикальное расстояние от линии регионального фона до графика аномалии Буге. Полученные таким образом значения способствовали выяснению характера изменения регионального фона по продольному профилю. В данном случае региональный фон определялся как плавная кривая, проходящая через его значения в точках пересечения продольного профиля с поперечными. Система взаимно увязанных таким способом профилей использована для построения схемы локальных (остаточных) аномалий силы тяжести, связанных с гранитами Горихинского массива.

Интенсивность локальных отрицательных аномалий в районе Горихинского массива достигает до  $-10$  мГал. Применение описанной выше методики не исключает возможности существенных искажений выделяемых локальных минимумов. В ряде случаев такие минимумы могут содержать неучтенные влияния неоднородностей фундамента (например, тел диоритов и

базитов), поэтому в отдельных местах возможно преуменьшение мощности гранитоидов, т. е. полученные при интерпретации оценки этого параметра нужно рассматривать как его минимальные значения.

### **Результаты количественной интерпретации аномалий силы тяжести**

Приближенное представление о форме и размерах геологических тел можно получить методом подбора моделей, гравитационное влияние которых согласуется с выделенными аномалиями силы тяжести. Естественно, при этом должны быть учтены информация о плотности интрузий и вмещающих пород, геологические данные о местоположении выходов гранитов на земную поверхность. Метод подбора заключается в последовательном построении ряда моделей и решении прямой задачи гравиметрии для каждой из них. В нашем случае, когда аномалии над телами гранитов имеют сложную форму, наиболее приемлемыми являются трехмерные модели. Количественная интерпретация гравитационных аномалий осуществлялась с помощью программы полуавтоматизированной инверсии аномалий силы тяжести при аппроксимации тел ограниченными по простиранию горизонтальными призмами с вертикальными сечениями, имеющими форму многоугольников [Webring, 1985]. Последующие приближения строятся с учетом результатов сравнения гравитационного влияния предыдущей модели с наблюдаемым полем. Способы изменения формы и размеров моделирующего интрузию тела при каждом приближении выбираются на основании общих физических представлений о соотношении между добавляемыми либо убираемыми массами и их гравитационными влияниями. Подбор имеет смысл вести до того варианта, когда отличия влияния модели от наблюдаемой аномалии станут равными погрешностям съемок либо меньше их. После подбора всех поперечных сечений по обнаженным частям массива производились расчеты по осевому продольному профилю с использованием полученных сведений о ширине массива. Известными также считались и вертикальные мощности плутона в точках пересечения осевого профиля с подобранными ранее сечениями. По каждому интерпретационному сечению массива (профилю) подбиралось наиболее компактное распределение масс с минимальным количеством апофиз. Результаты интерпретации локальных гравитационных аномалий вдоль профилей отражены на интерпретационных разрезах (рис. 3). Эти данные послужили основой для схем глубин кровли и мощности (толщины) массива (рис. 4, 5), которые дают важные, хотя и самые общие представления о глубинном строении плутона и морфологических особенностях его подземной части.

Как уже говорилось во введении, с кислыми интрузиями связано подавляющее большинство месторождений металлических полезных ископаемых, а знание особенностей их формы существенно сужает площади поисковых работ. Возможности чисто геологических методов в решении этой задачи ограничены. Детальные структурные съемки позволяют реконструировать первичную форму обнаженных частей плутонов. Экстраполяция по-

лученных данных на нескрытой части интрузий дает результаты лишь в применении к узким зонам, непосредственно примыкающим к выходам интрузивов. Бурение глубоких скважин в районах, перспективы которых еще недостаточно ясны, может оказаться экономически неоправданным.

Поэтому при изучении морфологии гранитных интрузий целесообразно использовать гравиметрический метод исследований, который позволяет в ряде случаев определить форму и размеры плутонов со степенью приближения, достаточной для общих теоретических разработок и для ориентировки поисковых работ. Этот метод дает возможность получить сведения о морфологии интрузивных образований наиболее дешевым и эффективным способом.

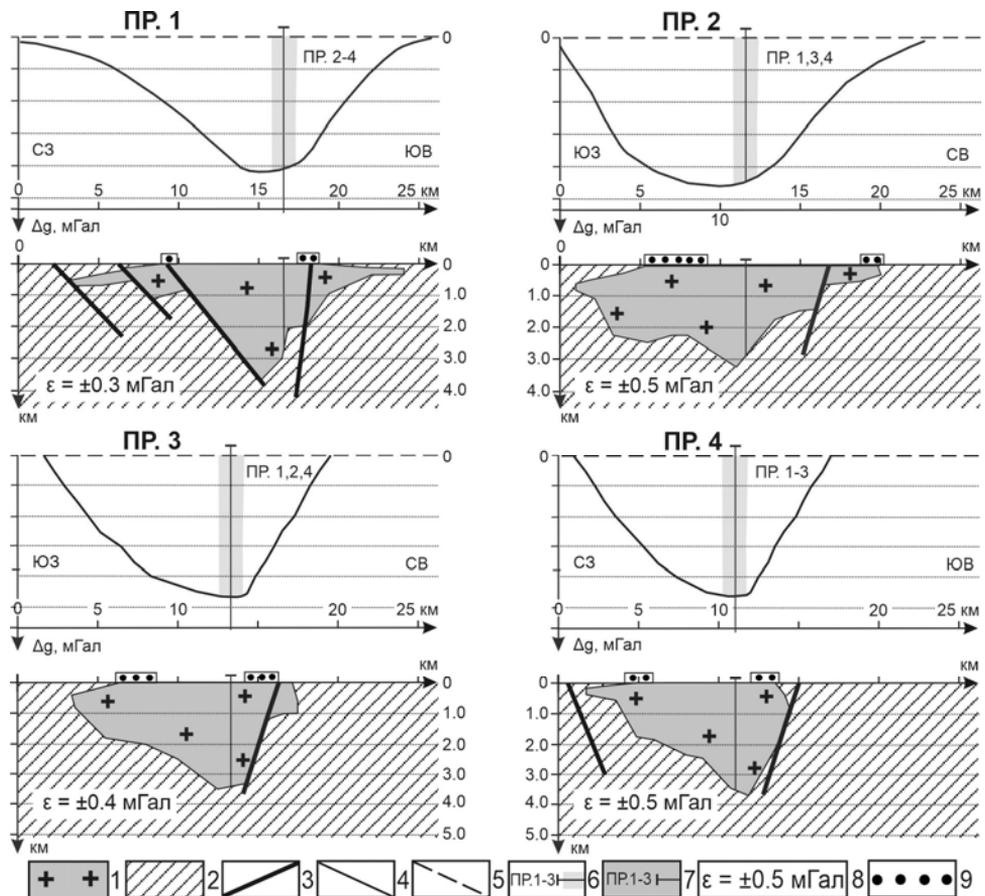


Рис. 3. Геолого-геофизические разрезы вдоль интерпретационных профилей Горихинского гранитного массива:

1 – гранитоиды массива; 2 – вмещающие породы; 3 – крупные разломы, установленные по геологическим данным; 4 – графики локальных аномалий; 5 – графики регионального фона; 6 – точки пересечения и значения величин регионального фона в местах пересечения интерпретационных профилей; 7 – точки пересечения и значения мощности (толщины) гранитоидов в местах пересечения интерпретационных профилей (положение профилей см. на рис. 1–2); 8 – точность подбора моделей по профилям, мГал; 9 – положение одиночных пегматитовых тел или их групп (по [Геология Монгольской Народной ..., 1973б], с изменениями) вдоль интерпретационных профилей

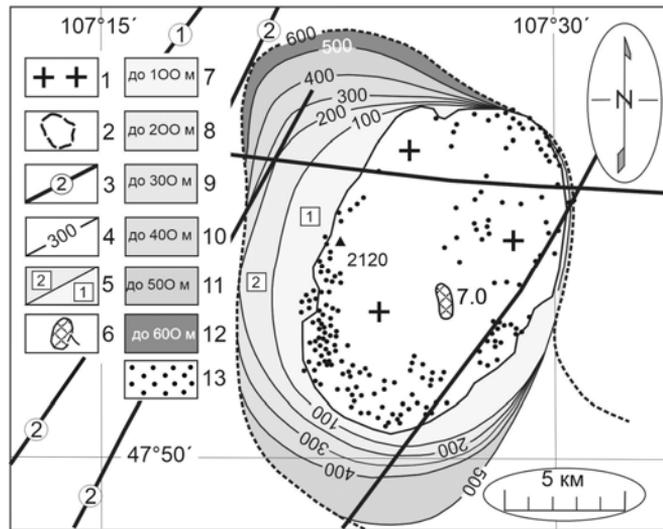


Рис. 4. Схема изоглубин кровли Горихинского гранитного массива:

1 – выходы гранитов Горихинского массива; 2 – площадь проекции массива на земную поверхность; 3 – крупные разломы, установленные по геологическим данным: 1 – Хундэйский, 2 – Дэндэйский; 4 – линии равных глубин кровли массива, м; 5 – площади, перспективные для поисков месторождений полезных ископаемых: 1 – первой очереди, 2 – второй очереди; 6 – положение предполагаемого магмоподводящего канала и глубина его заложения, км; 7–12 – изоглубины кровли массива, м: 7 – от 0 до 100 м, 8 – от 100 до 200 м, 9 – от 200 до 300 м, 10 – от 300 до 400 м, 11 – от 400 до 500 м, 12 – от 500 до 600 м; 13 – одиночные пегматитовые тела или их группы (по [Геология Монгольской Народной ... , 1973б], с изменениями)

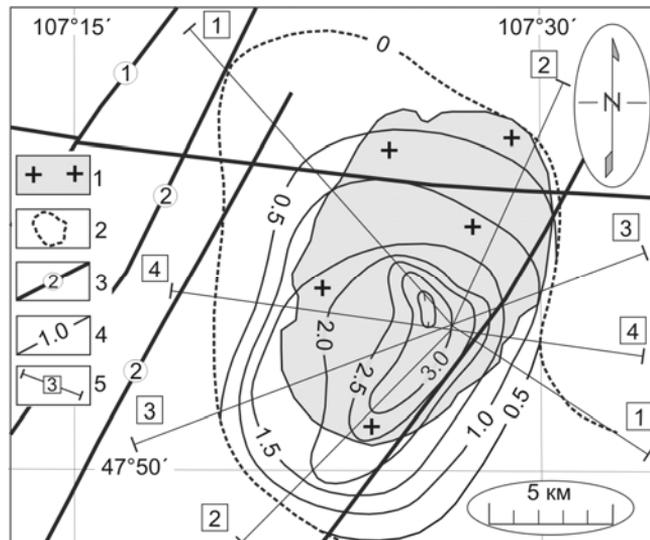


Рис. 5. Геолого-геофизическая модель мощности (толщины) Горихинского гранитного массива:

1 – выходы гранитоидов; 2 – площадь проекции массива на земную поверхность; 3 – крупные разломы, установленные по геологическим данным. Цифры (арабские) в кружках – названия разломов: 1 – Хундэйский, 2 – Дэндэйская система глубинных разломов; 4 – изолинии мощности (толщины) гранитоидов; 5 – интерпретационные профили

При этом для постановки работ при поисках и разведке полезных ископаемых используются контуры площади проекции гранитоидов на земную поверхность и глубина залегания кровли рудоносных массивов. Месторождения и рудопроявления полезных ископаемых, как правило, расположены в пределах таких площадей, а большая мощность вмещающих пород служит естественным ограничением для заложения буровых скважин.

Схема изоглубин кровли массива дает представление о ее морфологических особенностях и позволяет выделить первоочередные участки для поисков месторождений полезных ископаемых. Судя по рис. 4, такими участками являются северо-западные, южные и юго-восточные территории, соприкасающиеся к выходам Горихинского массива.

При построении схемы толщины массива линии равных глубин проведены путем интерполяции с учетом хода изоаномал на карте остаточных аномалий. Судя по интерпретационным разрезам (см. рис. 3) и схеме мощности (см. рис. 5), Горихинский массив имеет сложное «клавишное» строение и представлен блоками, направления простирания которых совпадают с направлением простирания разрывных нарушений, ограничивающих массив (см. рис. 1–5).

С запада Горихинский массив ограничивается Дэндэйским глубинным разломом. Северное ограничение массива контролируется долиной р. Тэрэлджи, совпадающей, судя по протяженному прямолинейному руслу, с разломной структурой, южное – долиной р. Толы (см. рис. 1). Восточная часть массива пересечена региональным разломом, параллельным Дэндэйскому и расположенным в 7–8 км восточнее его. Северная часть массива пересекается крупным разломом, параллельным руслу р. Тэрэлжи, проходящему в 6 км к северу от последнего. Максимальная мощность гранитоидов, исходя из результатов интерпретации гравиметрических данных, составляет около 4,0 км (см. рис. 3, профиль 4).

Отличительной особенностью геолого-геофизических разрезов Горихинского массива является то, что глубинные разломы, наряду с латеральным контролем массива, подчеркивают и его вертикальные ограничения (см. рис. 3), поскольку углы их падения, предполагаемые на основе детальных комплексных геолого-геофизических исследований [Complex..., 2004; Сейсмичность..., 2009], почти повсеместно совпадают с морфологическими особенностями его глубинной геометрии.

## **Выводы**

Анализ гравитационных аномалий силы тяжести в редукции Буге, полученных в результате выполненной авторами наземной площадной гравиметрической съемки среднего масштаба, позволил установить форму и размеры Горихинского гранитного массива и определить площади, перспективные для поисков месторождений полезных ископаемых, многочисленные проявления которых обнаружены ранее в пределах выходов массива. Максимальная толщина тела составляет около 4,0 км, площадь проекции на земную поверхность – 200 км<sup>2</sup> (при площади выходов, равной 110 км<sup>2</sup>). Грави-

метрические данные подтвердили блоковое строение массива (предполагаемое ранее по геологическим данным), границы которого контролируются крупными разломами.

Необходимо отметить, что в результате интерпретации гравитационных аномалий в большинстве случаев получается довольно грубое представление о глубинной структуре гранитных плутонов, даже при известном недостатке плотности и учете положения их выходов на земную поверхность. В то же время достоверно устанавливаются глубина центра тяжести, площадь поперечного сечения, общая асимметричность плутона. Ориентируясь на варианты компактного распределения масс, можно получить представление о минимально возможной площади кровли и установить уплощенность массива по вертикали (если она резко выражена). По локальным аномалиям высокого порядка вполне уверенно выделяются выступы кровли плутонов, не вскрытые денудацией. Однако выводы по глубине кровли подземных частей интрузий отличаются неточностью. Скорее, здесь следует говорить лишь об оценке по порядку. Сведения о форме и размерах массива, как и о его структурном положении, могут быть полезны для уточнения сейсмической активности района, при разработке представлений об образовании и механизме проникновения кислых интрузий в верхние части земной коры, а также при заключении о перспективах его металлогенической специализации.

#### Список литературы

- Геология Монгольской Народной Республики. Т. 1. Стратиграфия / под ред. Н. А. Маринова, Л. П. Зоненшайна, В. А. Благодарова. М. : Недра, 1973а. 582 с.
- Геология Монгольской Народной Республики. Т. 2. Магматизм, метаморфизм, тектоника / под ред. Р. А. Хасина, Ю. А. Борзаковского, Л. П. Зоненшайна. М. : Недра, 1973б. 752 с.
- Косухин О. Н., Бакуменко И. Т., Чупин В. П.* Магматический этап формирования гранитных пегматитов. Новосибирск : Наука, 1984. 136 с.
- Сейсмичность и районирование сейсмической опасности территории Монголии / под ред. В. С. Имаева, Р. М. Семенова. Иркутск : Институт земной коры СО РАН, 2009. 420 с.
- Таусон Л. В.* Геохимические типы и потенциальная рудоносность гранитоидов. М. : Наука, 1977. 280 с.
- Турутанов Е. Х.* Морфология мезозойских гранитных плутонов Монголии по гравиметрическим данным. Иркутск : Изд-во ИрГТУ, 2012. 223 с.
- Bankwitz P.* Magmentektonloche Aspekte der Intrusion des Erzgebirgeplutons // *Geolog. und Geophys. Veroff.* 1975. R III. N 36. P. 48.
- Biehler S. A., Bonini W. E.* Geophysical Interpretation of the Boulder Batholith, Montana // *Trans. Amer. Geophys. Union.* 1966. Vol. 47, N 1. P. 192.
- Brown M.* Granite: From genesis to emplacement // *Geological Society of America Bulletin.* 2013. N 7–8. P. 1079–1113. <https://doi.org/10.1130/B30877.1>
- Campbell D. S., Jonson D. J.* Bouguer gravity study of Enumclaw Pinnacle peak // *Nortwest Sci. Washington.* 1982. N 2. P. 90–100.
- Castro A.* The off-crust origin of granite batholiths // *Geoscience Frontiers.* 2014. Vol. 5. P. 63–75.
- Complex geophysical and seismological investigations in Mongolia / eds. V. I. Dzburik, T. Dudarmaa. Ulaanbaatar ; Irkutsk, 2004. 315 p.
- Eggle D. H.* Gravity survey of the Livermore-Tie Siding area, Colorado-Wyoming // *Mountain Geol.* 1967. Vol. 4, N 3. P. 109–114.

*Fairhead J. D., Walker P.* The geological interpretation of gravity and magnetic surveys over the exposed southern margin of the Galway Granite, Ireland // *Geol. J.* 1977. Vol. 12, N 1. P. 17–24.

*Healey D. L., Miller C. H.* Gravity survey of the Gold Meadows stock, Nevada Test Site, Nye County, Nevada // *Geol. Surv. Profess. Paper.* 1963. Vol. 475B. P. 64–66.

High-resolution gravity study of the Gray Fossil Site. (East Tennessee State University. Department of Geosciences, Springfield, Missouri. USA) / J. L. Whitelaw, K. Mickus, M. J. Whitelaw, J. Nave // *Geophysics.* 2008. Vol. 73, N 2. P. B25–B32.

*Howard D.* Geophysical studies of the Minarets Wilderness and adjacent areas, Madera and Mono counties, California // *Geol. Surv. Bull.* 1982. Vol. 1516A. P. 49–72.

*Lind G.* Gravity measurements over the Bohua Granite in Sweden // *Geol. foehn. Stockholm forhandl.* 1967. Vol. 88, N 4. P. 542–548.

Nye role of regional scale faults in controlling a trapdoor caldera, Coromandel Peninsula / N. Smith, J. Cassidy, C. A. Locke, J. L. Mauk, A. B. J. Christie // *New Zealand Volcanol and Geotherm. Res.* 2006. Vol. 149, N 3–4. P. 312–328.

*Oclsner C.* Die gravimetrischen Spezialvermessungen des Gebietes Geger // *Freiberger Forschungs. Ehrenfriedersdorf,* 1963. N 167. P. 85–93.

*Pitcher W. S.* The anatomy of batholiths // *Journ. Geol. Soc. (London).* 1978. Vol. 135, N 2. P. 157–182.

*Ramodass G., Ramaprasada Rao I. B., Himabindu D.* Crustal configuration of the Dharwar craton, India, based on joint modeling of regional gravity and magnetic data // *J. Asian Earth Sci.* 2006. Vol. 26, N 5. P. 437–448.

*Rowston D. L.* Gravity survey of manganese deposits in the Mt. Sydney-Woodie Woodie area, Pilbara Goldfield // *Geol. Surv. West. Austral. Annual. Rept.* 1965. N. 1. P. 49–51.

*Stephanson O., Johnson K.* Granite diapirism in the Rum Jungle area, Northern Australia // *Precambrian Res.* 1976. Vol. 3, N 2. P. 159–185.

*Webring M.* Semi-automatic Marquardt inversion of gravity and magnetic profiles // *U. S. Geological Survey Open-File Report OF.* P. 85–122.

## The Shape and Size Gorikhinsky Granite Massif (Mongolia)

E. Kh. Turutanov

*Institute of the Earth's Crust SB RAS, Irkutsk, Russian Federation*

B. Buyantogtokh, B. Tengis

*Center for Astronomy and Geophysics of the MAS, Ulaanbaatar, Mongolia  
Institute of the Earth's Crust SB RAS, Irkutsk, Russian Federation*

**Abstract.** The Gorikhinsky granite massif is located in the marginal part of the Khentei highlands of the Mongol-Trans-Baikal folded system of Central Mongolia. Crystal deposits and numerous ore occurrences of other minerals are associated with the granites of the massif. These data served as the basis for setting up flat-stage gravimetric work to determine the features of its geological structure in order to clarify the metallogenic specialization. The work was performed using scintrex autograv CG-5 gravimeters using the standard method. The heights of the observation points were determined by Trimble 5700 GPS devices. The mean-square accuracy of calculating gravitational anomalies and the density of the observation network meet the technical requirements for 1:100000 scale gravimetric surveys. Based on the results of a medium-scale areal gravimetric survey performed on the territory of the Gorikhinsky granite massif, a map of the anomalia gravity in the buge reduction was obtained. Based on the interpretation of this data, a volume model of the array is built. Its power reaches up to 3.5 km, the area of projection on the earth's surface is twice the area of the outputs. Information about the shape and size of the massif can be used in the conclusion about the prospects of its metallogenic specialization, the features of which were established earlier by geological, geo-

physical and geochemical methods, as well as in the development of ideas about the formation and mechanism of penetration of acidic intrusions into the upper parts of the earth's crust. A distinctive feature of the geological and geophysical sections of the Gorikhinsky massif is that the deep faults, along with the lateral control of the massif, also limit its vertical limits. Thus, the fault structures qualitatively confirm the reliability of the performed geological and geophysical interpretation. It should be noted that the interpretation of gravitational anomalies in most cases gives a fairly rough idea of the deep structure of granite plutons, even with a known lack of density and taking into account the position of their exits to the earth's surface.

**Keywords:** anomaly of gravity, granite massif, shape, dimensions.

**For citation:** Turutanov E. Kh., Buyantogtokh B., Tengis B. The Shape and Size Gorikhinsky Granite Massif (Mongolia). *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences*, 2020, vol. 31, pp. 85-101. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2020.31.85> (in Russian)

### References

- Marinov N.A., Zonenshayn L.P., Blagonravov V.A. (eds.). *Geologiya Mongolskoi Narodnoi Respubliki. Vol. 1. Stratigrafiya* [Geology of the Mongolian People's Republic. Vol. 1. Stratigraphy]. Moscow, Nedra Publ., 1973, 582 p. (in Russian)
- Hasin R.A., Borzakovskii Yu.A., Zonenshayn L.P. (eds.) *Geologiya Mongol'skoi Narodnoi Respubliki. Vol. 2. Magmatizm, metamorfizm, tektonika*. [Geology of the Mongolian People's Republic. Vol. 2. Magmatizm, metamorfizm, tektonika]. Moscow, Nedra Publ., 1973, 752 p. (in Russian)
- Kosuhin O.N., Bakumenko I.T., Chupin V.P. *Magmaticheskii etap formirovaniya granitnykh pegmatitov* [Magmatic stage of formation granite pegmatites]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1984, 136 p. (in Russian)
- Imayev V.S., Semenov R.M. (eds.). *Seismichnost i rayonirovaniye seismicheskoy opasnosti territorii Mongolii*. Irkutsk, Institut zemnoy kory SB RAS Publ., 2009, 420 p.
- Tauson L.V. *Geohimicheskie tipi i potentsialnaya rudonosnost granitoidov* [Geochemical types and potential ore content of granitoids]. Moscow, Nauka, 1977, 280 p. (in Russian)
- Turutanov E.Kh. *Morfologiya mezozoiskikh granitnykh plutonov Mongolii po gravimetricheskim dannym* [Morphology of Mesozoic granite plutons of Mongolia by gravimetric data]. Irkutsk, IRGTU Publ., 2012, 223 p. (in Russian)
- Bankwitz P. Magmentektonloche Aspekte der Intrusion des Erzgebirgeplutons. *Geolog. und Geophys. Veroff*, 1975, vol. 3, no. 36, p. 48.
- Biehler S.A., Bonini W.E. Geophysical Interpretation of the Boulder Batholith, Montana. *Trans. Amer. Geophys. Union*, 1966, 47, no. 1, p. 192.
- Brown M. Granite: From genesis to emplacement. *Geological Society of America Bulletin*, 2013, no. 7-8. pp. 1079-1113. <https://doi.org/10.1130/B30877.1>
- Campbell D. S., Jonson D. J. Bouguer gravity study of Enumclaw Pinnacle peak. *Nortwest Sci.*, Washington, 1982, no. 2, pp. 90-100.
- Castro A. The off-crust origin of granite batholiths. *Geoscience Frontiers*, 2014, vol. 5. pp. 63-75.
- Dzhurik V.I., Dudarmaa T. (eds.). *Complex geophysical and seismological investigations in Mongolia*. Ulaanbaatar, Irkutsk, 2004, 315 p.
- Egger D.H. Gravity survey of the Livermore-Tie Siding area, Colorado-Wyoming. *Mountain Geol.*, 1967, vol. 4, no. 3, pp. 109-114.
- Fairhead J.D., Walker P. The geological interpretation of gravity and magnetic surveys over the exposed southern margin of the Galway Granite, Ireland. *Geol. J.*, 1977, vol. 12, no. 1, pp. 17-24.
- Healey D. L., Miller C. H. Gravity survey of the Gold Meadows stock, Nevada Test Site, Nye County, Nevada. *Geol. Surv. Profess. Paper*, 1963, vol. 475B, pp. 64-66.
- Whitelaw J.L., Mickus K., Whitelaw M.J., Nave J. High-resolution gravity study of the Gray Fossil Site. East Tennessee State University. Department of Geosciences, Springfield, Missouri. USA. *Geophysics*, 2008, vol. 73, no. 2, pp. B25-B32.

Howard D. Geophysical studies of the Minarets Wilderness and adjacent areas, Madera and Mono counties, California. *Geol. Surv. Bull.*, 1982, 1516 A, pp. 49-72.

Lind G. Gravity measurements over the Bohua Granite in Sweden. *Geol. forhn. Stockholm forhanadl.*, 1967, vol. 88, no. 4, pp. 542-548.

Smith N., Cassidy J., Locke C.A., Mauk J.L., Christie A.B.J. Nye role of regional scale faults in controlling a trapdoor caldera, Coromandel Peninsula. *New Zealand Volcanol and Geotherm. Res.*, 2006, vol. 149, no. 3-4, pp. 312-328.

Oclsner C. Die gravimetrischen Spezialvermessungen des Gebietes Geger. *Freiberger Forschungs, Ehrenfriedersdorf*, 1963, no. 167, pp. 85-93.

Pitcher W.S. The anatomy of batholiths. *Journ. Geol. Soc.*, London, 1978, vol. 135, no. 2, pp. 157-182.

Ramodass G., Ramaprasada Rao I.B., Himabindu D. Crustal configuration of the Dharwar craton, India, based on joint modeling of regional gravity and magnetic data. *J. Asian Earth Sci.*, 2006, 26, no. 5, pp. 437-448.

Rowston D.L. Gravity survey of manganese deposits in the Mt. Sydney-Woodie Woodie area, Pilbara Goldfield. *Geol. Surv. West. Austral. Annual. Rept.*, 1965, vol. 1, pp. 49-51.

Stephanson O., Johnson K. Granite diapirism in the Rum Jungle area, Northern Australia. *Precambrian Res.*, 1976, vol. 3, no. 2, pp. 159-185.

Webring M. Semi-automatic Marquardt inversion of gravity and magnetic profiles. *U. S. Geological Survey Open-File Report OF 85-122*.

**Турутанов Евгений Хрисанфович**

доктор геолого-минералогических наук,  
главный научный сотрудник, заведующий,  
лаборатория комплексной геофизики  
Институт земной коры СО РАН  
Россия, 664033, г. Иркутск,  
ул. Лермонтова, 128  
e-mail: tur@crust.irk.ru

**Turutanov Evgeny Khrisanfovich**

Doctor of Sciences (Geology and  
Mineralogy), Chief Researcher, Head,  
Laboratory Complex Geophysics  
Institute of the Earth's Crust SB RAS  
128, Lermontov st., Irkutsk, 664033,  
Russian Federation  
e-mail: tur@crust.irk.ru

**Буянтогтох Базарин**

научный сотрудник  
Центр астрономии и геофизики МАН  
P.O.-788, г. Улан-Батор, 210613, Монголия  
аспирант  
Институт земной коры СО РАН  
Россия, 664033, г. Иркутск, ул. Лермонто-  
ва, 128  
e-mail: bazaryn\_b@yahoo.com

**Buyantogtokh Bazarin**

Researcher  
Center for Astronomy and Geophysics MAS  
PO-788, Ulaanbaatar-210613, Mongolia  
Postgraduate  
Institute of the Earth's Crust SB RAS  
128, Lermontov st., Irkutsk, 664033,  
Russian Federation  
e-mail: bazaryn\_b@yahoo.com

**Тэнгис Бадма**

научный сотрудник  
Центр астрономии и геофизики МАН  
P.O.-788, г. Улан-Батор, 210613, Монголия  
аспирант  
Институт земной коры СО РАН  
Россия, 664033, г. Иркутск,  
ул. Лермонтова, 128

**Tengis Badma**

Researcher  
Center for Astronomy and Geophysics MAS  
PO-788, Ulaanbaatar-210613, Mongolia  
Postgraduate  
Institute of the Earth's Crust SB RAS  
128, Lermontov st., Irkutsk, 664033,  
Russian Federation

Код научной специальности: 25.00.01

Дата поступления: 01.02.2020

Received: February, 01, 2020